

THÈSE DE
PARIS.
1888
N^o. 112.

A, N^o 102
ORDRE
609

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

J. PEYROU

Licencié ès sciences physiques et ès sciences naturelles
de la Faculté de Paris.

➔ **1^{re} THÈSE.** — RECHERCHES SUR L'ATMOSPHÈRE INTERNE DES PLANTES.

2^e THÈSE. — DE L'ACTION TOXIQUE ET PHYSIOLOGIQUE DE L'HYDROGÈNE
SULFURÉ SUR LES ANIMAUX.

Soutenues le 8 Mars devant la Commission d'examen

MM. DELAGE.....	<i>Président.</i>
BONNIER.....	} <i>Examineurs.</i>
DASTRE.....	

CORBEIL
IMPRIMERIE CRÉTÉ

1888

SÉRIE A, N° 102

N° D'ORDRE

609

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

J. PEYROU

Licencié ès sciences physiques et ès sciences naturelles
de la Faculté de Paris.

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES SUR L'ATMOSPHÈRE INTERNE DES PLANTES.

2^e THÈSE. — DE L'ACTION TOXIQUE ET PHYSIOLOGIQUE DE L'HYDROGÈNE
SULFURÉ SUR LES ANIMAUX.

ACAD.
UGD. BAT.
BIBL.

Soutenues le 8 Mars devant la Commission d'examen

MM. DELAGE..... *Président.*

BONNIER..... }
DASTRE..... } *Examineurs.*

CORBEIL

IMPRIMERIE CRÉTÉ

1888

ACADÉMIE DE PARIS

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

MM.

Doyen HÉBERT, Professeur... Géologie.

Professeurs honoraires. { PASTEUR.
DUCHARTRE.

DE LACAZE-DUTHIERS. Anatomie, Physiologie comparée.

HERMITE..... Algèbre supérieure.

TROOST..... Chimie.

FRIEDEL..... Chimie organique.

OSSIAN BONNET..... Astronomie.

DARBOUX..... Géométrie supérieure.

DEBRAY..... Chimie.

TISSERAND..... Astronomie.

LIPPMANN..... Physique.

HAUTEFEUILLE..... Minéralogie.

BOUTY..... Physique.

Professeurs..... APPEL..... Mécanique rationnelle.

DUCLAUX..... Chimie biologique.

BOUSSINESQ..... Mécanique physique et expérimentale.

PICARD..... Calcul différentiel et calcul intégral.

POINCARÉ..... Calcul des probabilités et Physique mathématique.

Y. DELAGE..... Zoologie, Anatomie, Physiologie comparée.

BONNIER..... Botanique.

DASTRE..... Physiologie.

Professeurs adjoints. { WOLF..... Physique céleste.

{ CHATIN..... Zoologie, Anatomie.

Secrétaire PHILIPPON.

A

MONSIEUR GRÉHANT

Hommage du plus profond respect et de la plus vive
reconnaissance de son élève.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

PREMIÈRE THÈSE

RECHERCHES

SUR

L'ATMOSPHÈRE INTERNE

DES FEUILLES

INTRODUCTION

Les gaz contenus dans l'intérieur des plantes sont constamment soumis, et cela pour un grand nombre de causes, à des changements de pression et de composition. Parmi les plus importantes je citerai : l'absorption de l'oxygène par les éléments de la plante ; la formation de l'acide carbonique et son dégagement ; les mouvements qu'éprouvent les plantes sous diverses influences et en particulier sous celle des vents atmosphériques ; les variations de la température et de la pression extérieures ; la pénétration des liquides dans les tissus, car non seulement ils y introduisent les gaz qu'ils dissolvent, mais encore ils y produisent une augmentation de pression qui est la cause de certains mouvements gazeux. A toutes ces causes j'ajouterai les phénomènes d'endosmose et de diffusion dont les cellules sont constamment le siège.

De tout cela, il résulte qu'on doit s'attendre à trouver toujours une différence de composition entre le contenu gazeux des feuilles et l'atmosphère ambiante.

Ce sont des considérations de ce genre qui nous ont amenés, M. Gréhan et moi, à nous occuper de chercher à déterminer la composition de l'atmosphère interne des feuilles. Comme nous l'avions prévu, nous avons toujours trouvé une différence plus ou moins considérable dans la composition gazeuse de ces deux milieux. A l'intérieur des plantes la proportion d'oxygène est toujours plus faible que dans l'air atmosphérique ; par contre, l'acide carbonique est en quantité bien plus considérable. Ces différences, toujours dans le même sens, peuvent présenter des variations considérables d'une plante à l'autre dans les plantes de la même espèce et aussi dans les différentes parties d'une même plante : ainsi, par exemple, des feuilles de Saxifrages prises sur les mêmes plantes, mais à des jours et à des heures différentes, nous ont donné comme proportion d'oxygène par rapport à l'azote : une première fois 8,9 p. 100, une autre fois 11,7, et une troisième fois 14,5.

Ces variations nous avaient frappés ; elles méritaient d'être étudiées et suivies de près, or c'est ce que j'ai fait personnellement, avec l'autorisation de M. Gréhan.

Je donne dans ce mémoire le résultat de mes recherches que j'ai classées en six chapitres principaux.

Dans le premier j'ai étudié les variations générales de l'atmosphère interne par rapport :

- 1° Aux différentes heures de la journée ;
- 2° Aux échanges gazeux qui se produisent dans les parties vertes à la lumière ;
- 3° A différentes époques de l'année.

Le deuxième chapitre a trait à l'influence des causes extérieures :

- 1° La température ;
- 2° L'agitation de l'air.

Le troisième chapitre se rapporte à l'influence de la structure des feuilles ; de là, études sur l'influence :

- 1° De l'âge.
- 2° De la lumière solaire et de l'ombre ;

3° Du genre de plante;

4° De la coloration de l'organe.

Le quatrième chapitre contient les résultats d'un grand nombre d'expériences faites pour provoquer artificiellement des variations dans l'atmosphère interne des feuilles.

Dans le cinquième chapitre j'établis les relations qui existent entre la proportion d'oxygène et d'azote qu'on trouve dans les plantes et la quantité absolue de l'acide carbonique.

Enfin, dans le sixième et dernier chapitre, je m'occupe des relations qui existent entre la composition de l'atmosphère interne des plantes et les phénomènes de vitalité générale que je fais suivre des conclusions générales de tout le travail.

I. HISTORIQUE

L'historique du sujet qui nous occupe ne peut offrir un grand développement, en ce qui concerne les variations du contenu gazeux des plantes; on peut dire que c'est un sujet absolument neuf, rien n'a été fait là-dessus, du moins que nous sachions jusqu'à ce jour. Quant à la question du contenu gazeux des plantes, en lui-même, il n'a été qu'effleuré; aucun des observateurs qui se sont occupés de ce sujet d'une façon plus ou moins directe n'a complètement résolu le problème.

Les premiers travaux qui ont été faits sur l'étude des gaz contenus dans les plantes ont été réalisés par Calvert et Ferraud (1). Ces deux savants firent éclater sous le mercure des gousses de *Colutea arborescens*; ils en recueillirent les gaz, les desséchèrent et en firent l'analyse.

Ils absorbaient l'acide carbonique par la potasse et dosaient l'oxygène au moyen de l'*eudiomètre*. Ils firent des expériences comparatives sur des gousses jeunes, intermédiaires et vieilles; voici textuellement le tableau comparatif qu'ils dressèrent d'après leurs expériences :

Gousses intermédiaires.

Heure de l'expérience.	État du ciel.	Oxygène. p. 100.	Ac. carbonique. p. 100.	Oxygène + Ac. carbonique.
11 heures.	Nuit	20,40	2,74	23,24
7 —	Matin sombre.....	20,67	2,61	23,29
12 —	Midi sombre.....	20,90	2,42	23,33
4 —	Après-midi sombre..	20,90	2,43	23,38
7 —	Matin soleil.....	21,86	1,9	22,98
12 —	Midi soleil.....	21,28	1,41	22,71

(1) *Comptes rendus de l'Ac. des sciences*, 1843, XVII, p. 953.

Gousses jeunes.

Heure de l'expérience.	État du ciel.	Oxygène. p. 100.	Ac. carbonique. p. 100.	Oxygène + Ac. carbonique.
11 heures.	Nuit.....	20,58	2,63	23,22
7 —	Matin sombre.....	20,62	2,60	23,23
12 —	Midi sombre.....	20,76	2,46	23,01
4 —	Après-midi sombre..	20,74	2,47	23,21
7 —	Matin soleil.....	20,84	1,93	22,77
12 —	Midi soleil.....	21,03	1,76	22,79
4 —	Après-midi soleil....	21,24	2,09	23,33

Gousses vieilles.

11 heures.	Nuit.....	19,29	2,95	22,23
7 —	Matin sombre.....	20,16	2,60	22,77
12 —	Midi sombre.....	20,62	2,46	23,08
4 —	Après-midi sombre..	20,59	2,47	23,07
7 —	Matin soleil.....	21,13	2,31	23,45
12 —	Midi soleil.....	21,24	2,10	23,34
4 —	Après-midi soleil...	20,67	2,10	22,78

Ils tirèrent de ce premier tableau les conclusions suivantes :

« L'air des gousses est beaucoup plus riche en acide carbonique que l'air atmosphérique. »

« L'acide carbonique est en quantité plus considérable la nuit que le jour. »

« La force décomposante de la lumière augmente avec son intensité et la durée de son action. »

« On remarque que relativement à l'âge des gousses la réduction de l'acide carbonique est en rapport avec la force de la végétation. »

Après cette série d'expériences ils en firent une autre sur les gaz contenus dans les tiges creuses d'un certain nombre de plantes et d'après leurs résultats ils dressèrent le tableau suivant sur les quantités d'acide carbonique le jour et la nuit, puis de l'oxygène.

Noms des plantes.	Quantités d'acide carbonique, p. 100.		Augmentation d'ac. carbonique la nuit.
	Nuit.	Jour.	
Angelica Archangelica.....	2,581	1,766	0,815
Ricinus communis.....	3,078	2,721	0,347
Dahlia variabilis.....	3,133	2,881	0,252
Arundo Donax.....	4,619	4,407	0,212
Leycesteria formosa.....	2,879	2,267	0,612

Noms des plantes.	Quantités d'oxygène, p. 100.		Augmentation de l'oxygène la nuit.
	Nuit.	Jour.	
<i>Angelica Archangelica</i>	20,364	19,784	0,580
<i>Ricinus communis</i>	18,656	16,876	1,780
<i>Dahlia variabilis</i>	18,823	18,113	0,704
<i>Arundo Donax</i>	18,691	18,193	0,498
<i>Leycesteria formosa</i>	19,137	18,703	0,434

Voici maintenant leurs conclusions :

« L'air de l'intérieur des tiges est très différent de celui de l'atmosphère surtout en acide carbonique qui augmente avec la force de végétation. »

« La quantité d'acide carbonique est plus grande la nuit que le jour, mais la différence n'est pas aussi considérable que dans les gousses. »

Nous ferons remarquer, ajoutent-ils, « que dans les tiges l'oxygène augmente avec l'acide carbonique, ce qui est le contraire de ce que nous avons signalé pour les gousses. »

Nous ferons simplement remarquer que la méthode employée par les deux observateurs dont nous venons d'analyser les travaux ne leur permet d'extraire les gaz que d'une certaine catégorie de plantes. Que ces gaz qu'ils ont analysés sont dans des conditions spéciales : logés dans de grandes lacunes, ils ne sont pas en rapport direct avec le protoplasma ; en outre les gaz qu'ils recueillent de la sorte ne sont qu'une partie de l'atmosphère interne des plantes auxquelles ils se sont adressés, ce sont précisément ces gaz négligés qui doivent offrir le plus d'intérêt aux physiologistes ; ils n'ont pu atteindre en effet ceux qui sont dissous soit dans le protoplasma, soit dans le suc cellulaire, ils ne peuvent extraire non plus ceux qui sont contenus dans les petits espaces intercellulaires. Ce sont pourtant ces gaz qui doivent offrir la composition la plus différente de ceux de l'atmosphère extérieure ; les variations dans leur composition doivent être la conséquence immédiate des variations du pouvoir absorbant protoplasmique. Il n'est donc pas étonnant que leurs résultats soient bien différents de ceux que nous avons obtenus, et

cette différence est bien dans le sens indiqué par la critique que nous venons de faire. En effet, ils trouvent une moyenne d'oxygène plus élevée que la nôtre; par contre, nous trouvons en général de bien plus grandes quantités d'acide carbonique.

Nous ferons remarquer encore que parfois ils ont obtenu des proportions d'oxygène plus élevées que celle qui existe dans l'air atmosphérique, fait que nous n'avons jamais rencontré dans nos nombreuses expériences.

En 1853, F. Schulze(1) a publié les résultats d'expériences analogues aux précédentes sur les gaz contenus dans les cavités des chaumes de Graminées, de *Rumex*, d'*Angelica officinalis*, etc. Il trouva, paraît-il, lorsque les tiges étaient intactes, de l'azote presque pur, pas trace d'oxygène et à peine 0,5 p. 100 au plus d'acide carbonique.

Ce qui nous étonne dans ces résultats, c'est la faible quantité d'acide carbonique alors que l'oxygène est complètement disparu; pourtant, ceci pourrait bien être la conséquence des idées que nous avons émises : que l'acide carbonique doit être à l'état de faible combinaison. Dans ces conditions il échapperait, en effet, complètement à l'observateur qui emploierait une méthode analogue aux précédentes. Pour nous, pour avoir la presque totalité de ce gaz, il a fallu faire le vide absolu et élever la température jusque vers 100 degrés.

Dans un mémoire sur l'émission du gaz azoté par les plantes, M. Boussingault (2) dit qu'ayant essayé, ainsi que l'avaient fait Cloëzet Gratiolet, de préparer de l'oxygène pur par la décomposition de l'acide carbonique par la chlorophylle, il ne put y parvenir, même en prenant de l'eau bouillie complètement purgée d'air. Il pensa alors que cet azote qui se trouvait toujours mélangé à l'oxygène devait provenir de l'atmosphère interne des feuilles. Il conclut, de là, à la nécessité de tenir compte de ces gaz internes dans toutes les recherches sur la respiration des plantes. Il attira sur ce sujet l'attention des physiologistes, et pour résoudre lui-

(1) D'après Sachs Schulze, *Lehrb. der chem. f. Landwirthe*, 1853, L. 58.

(2) *Agronomie*, 1864, t. III, p. 266.

même ce problème, il a imaginé la méthode suivante :

Elle consiste à placer, dans un ballon rempli d'eau tenant en dissolution une certaine quantité d'acide carbonique, les feuilles dont il voulait connaître le contenu gazeux. Ce premier ballon dans lequel on avait placé les feuilles communiquait par un tube de caoutchouc avec un second ballon à deux tubulures qu'il appelle le *bouilleur* ; ce bouilleur est muni d'un tube abducteur qui vient déboucher sur une cuve à mercure. Lorsqu'il voulait faire une expérience il interrompait d'abord la communication du bouilleur avec le ballon renfermant les feuilles, en serrant le tube de caoutchouc avec une pince à pression ; puis, il portait à l'ébullition un peu d'eau qui se trouvait dans le bouilleur tout en maintenant l'extrémité du tube abducteur plongée dans le mercure.

La vapeur d'eau entraînait l'air au dehors du bouilleur et il arrêtait le feu lorsqu'il jugeait que le vide était fait aussi complètement que possible.

Par suite du refroidissement, la pression extérieure faisait monter le mercure dans le tube abducteur jusqu'à une certaine hauteur qui donnait des indications précises sur le degré de vide obtenu.

Ceci fait, il chauffait jusqu'à 45 ou 50° au plus le ballon renfermant les feuilles après avoir rétabli la communication entre le ballon et le bouilleur.

Sous l'influence de cette élévation de température les gaz se dégageaient de l'eau et des feuilles, et se rendaient dans le bouilleur ainsi que de la vapeur d'eau qui s'y condensait en partie. On interrompait ensuite, en pinçant le caoutchouc, la communication entre le ballon et le bouilleur.

En chauffant celui-ci, on chassait les gaz qu'on recueillait sur le mercure et qu'on analysait ensuite. Après avoir réalisé cette première expérience, on en faisait une autre en ne mettant dans le ballon que de l'eau, identique à la première, bien entendu.

En répétant la série d'opérations que nous venons d'indiquer, on obtenait les gaz qui étaient contenus dans l'eau

tandis que dans la première expérience on avait les gaz de l'eau et ceux des feuilles.

Il semble que par différence on doive obtenir les gaz des feuilles, mais en examinant les tableaux dressés par Boussingault on s'aperçoit que généralement la première expérience donne moins d'oxygène que la seconde, parce qu'une partie de ce gaz contenu dans l'eau ou provenant de la décomposition de l'acide carbonique par la chlorophylle est absorbé pour la respiration des feuilles qui se continue pendant la durée des opérations indiquées : il est donc impossible de savoir par cette méthode quelle est la quantité absolue d'oxygène qui se trouve dans les feuilles. M. Boussingault faisait ensuite une troisième expérience après avoir exposé un certain temps à la lumière les ballons contenant les feuilles, plongées dans de l'eau identique à celle qui avait servi dans les deux expériences précédentes que nous venons de décrire. Cette troisième partie avait pour but de déterminer la résultante de la respiration et de l'action chlorophyllienne.

Cette méthode très ingénieuse, capable peut-être de donner de bons résultats pour le but que poursuivait son auteur, est absolument insuffisante, ainsi que nous venons de le démontrer, pour donner une idée exacte de l'atmosphère interne des feuilles. C'est précisément l'oxygène auquel on doit attacher le plus d'importance qui ne peut être dosé. Eût-il même été possible de doser l'oxygène que ce procédé était incapable de permettre une extraction complète de tous les gaz internes.

Dernièrement MM. Dehérain et Maquenne se sont aussi occupés de l'atmosphère interne des plantes (1), mais le but que voulaient atteindre ces messieurs n'est pas celui que nous poursuivons; aussi n'ai-je pas à faire la critique de leur méthode au point de vue de leur travail; mais pour l'étude de la composition de l'atmosphère interne des feuilles leur manière d'opérer serait tout à fait insuffisante.

On voit, d'après le résumé que nous venons de faire des

(1) Recherches sur la respiration des feuilles à l'obscurité, par MM. Dehérain et Maquenne (*Annales agronomiques*, t. XII, avril 1886).

travaux qui ont été publiés sur la question qui nous occupe, que jusqu'à ce jour il n'en a été fait aucune étude complète : aussi est-ce dans l'intention de combler cette lacune, que M. Gréhant et moi avons entrepris, il y a deux ans, une série d'expériences sur ce sujet, qui nous ont fait connaître la différence considérable qui existe généralement entre la composition des gaz contenus dans les feuilles et l'atmosphère extérieure (1). Nous avons étudié successivement les feuilles aériennes submergées et flottantes : l'appareil que nous avons employé est le même que celui dont je me suis servi dans mes recherches qui font le sujet de ce mémoire et que je décrirai dans le chapitre suivant.

(1) *C. R. A. des sciences*, 2 juin 1885 et *Société de Biologie*, 13 juillet 1885.

II. MÉTHODE ET APPAREIL

L'appareil qui m'a servi est à peu près le même que celui que M. Gréhant a indiqué et qu'on emploie habituellement dans les laboratoires pour l'extraction des gaz du sang.

Il se compose d'une pompe à mercure, à laquelle est adapté un récipient fermé d'une allonge de un demi-litre de capacité environ et soudée à angle droit à l'extrémité d'un long tube de verre enveloppé d'un manchon réfrigérant. L'ouverture de cette allonge peut être fermée avec un bouchon de caoutchouc.

On soulève d'abord ce récipient au-dessus de l'horizon pour que l'allonge soit maintenue verticalement; dans cette position on la remplit complètement avec de l'eau qui a bouilli pendant vingt à trente minutes, ce qui se fait au moyen d'un tube de cuivre contourné en spirale et plongé dans un vase rempli d'eau froide. L'une des extrémités de ce tube plonge dans l'eau bouillante et l'autre communique avec le robinet de la pompe à mercure. On fait manœuvrer celle-ci pour aspirer l'eau privée de gaz et on l'introduit froide par suite de son passage dans le serpentín, dans la chambre barométrique, puis de là dans le récipient. C'est dans cette eau que nous introduisons généralement 50 grammes de feuilles ou de tiges aussitôt détachées de la plante.

Il faut éviter avec grand soin à la surface des feuilles la présence de bulles de gaz adhérentes que l'on aperçoit généralement très bien lorsque les feuilles sont immergées; parfois on peut les chasser assez aisément en agitant avec une baguette; mais lorsqu'on a affaire à une couche uniforme gazeuse présentant sous l'eau un aspect argenté comme cela

a lieu pour un grand nombre de feuilles, il est alors impossible de se débarrasser de ces gaz extérieurs qui offrent dans ce cas un volume assez considérable. De là des causes d'erreur que nous avons cherché à éviter en ne prenant pour nos étu-

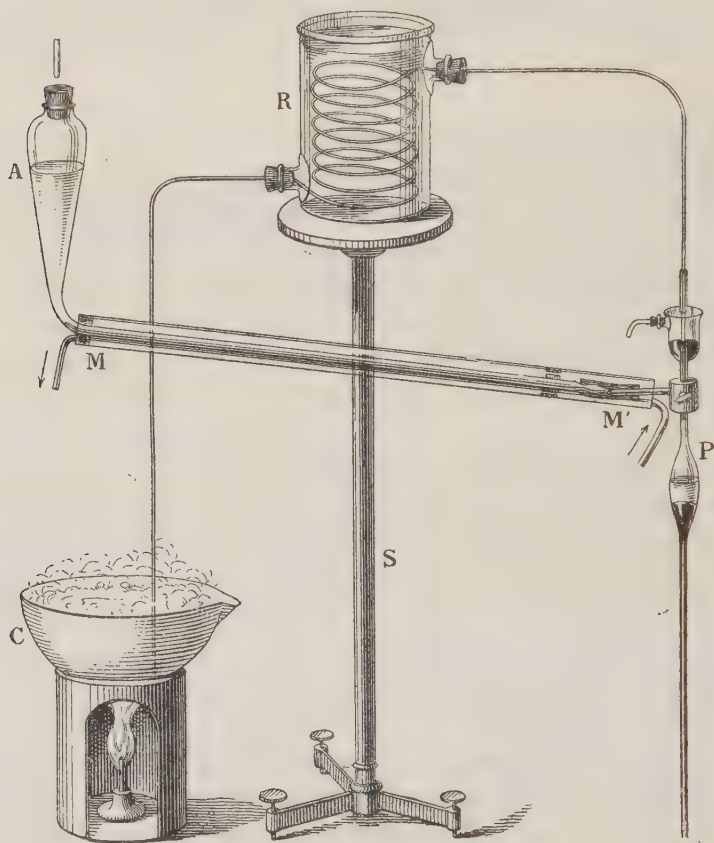


Fig. 1. — Appareil pour l'extraction des gaz des feuilles.

des que des feuilles glabres, lisses, se laissant facilement mouiller.

Il est encore une bonne précaution à prendre pour se débarrasser rapidement de ces gaz adhérents même lorsqu'on emploie des feuilles lisses, elle consiste à laver les feuilles dont on veut extraire les gaz, dans de l'eau bouillie et refroidie

avant de les mettre dans l'appareil à extraction. De cette façon on opère toujours dans les mêmes conditions et les résultats sont plus rigoureux, surtout lorsqu'on veut faire des expériences comparatives. Le peu de gaz qui doit rester encore sur les feuilles doit être considéré comme une constante.

Les feuilles étant introduites dans l'appareil avec toutes les précautions dont je viens de parler, on fait arriver encore une certaine quantité d'eau de la chambre barométrique jusqu'à ce qu'elle se déverse à la partie supérieure de l'allonge qu'on ferme de suite avec un bouchon de caoutchouc. On extrait ensuite la plus grande partie de l'eau de l'allonge où baignent les feuilles; opération qui se fait très facilement en manœuvrant la pompe convenablement. Le récipient est ensuite renversé dans de l'eau à la température du laboratoire et on extrait à cette température le plus de gaz possible. On recueille ainsi généralement pour 50 grammes de feuilles de 10 à 15 centimètres cubes de gaz, quelquefois plus, parfois moins; cela dépend des plantes. On porte ensuite la température de l'eau dans laquelle plonge le récipient le plus souvent de 60 à 70°, parfois jusqu'à l'ébullition, cela dépend des résultats qu'on veut obtenir. A cette température on extrait tout le gaz possible.

Analyse des gaz obtenus.

Les gaz ont été recueillis dans une cloche remplie de mercure et graduée en centimètres cubes et dixièmes de centimètre cube. Cette cloche est portée sur la cuve profonde; on l'enfonce complètement dans le mercure, pendant quelques minutes, pour que les gaz en prennent la température; on lit ensuite le volume gazeux le plus rigoureusement possible. Puis, l'acide carbonique est absorbé par la potasse, on plonge encore l'éprouvette dans le mercure pendant quelques minutes et on fait la lecture du volume du gaz restant; la différence avec le premier donne l'acide carbonique. On introduit ensuite une dissolution d'acide pyrogallique qui,

en présence de la potasse, va absorber l'oxygène. Il est très important, avant cette introduction d'acide pyrogallique, de s'être bien assuré que le volume gazeux ne change plus, c'est-à-dire que l'acide carbonique est entièrement absorbé.

Après l'absorption complète de l'oxygène on fait une dernière lecture à la température du mercure et on a le volume de l'azote. Quoique les éprouvettes qui nous servent pour recueillir et analyser les gaz ne soient divisées qu'en dixièmes de centimètre cube, il nous a été facile, à cause de leur faible diamètre, d'apprécier le volume gazeux au vingtième de centimètre cube.

Nous avons tenu compte aussi, autant que possible mais approximativement seulement, de la pression exercée au-dessus du mercure par la dissolution de potasse et d'acide pyrogallique. Comme dans toutes nos expériences, c'est surtout des quantités relatives de gaz dont nous nous sommes occupé. Nous n'avons pas cru devoir faire les corrections dues aux changements de température.

Les gaz, obtenus à la température du laboratoire, renferment de l'azote, de l'oxygène et de l'acide carbonique; l'azote y domine toujours; à une température plus élevée c'est l'acide carbonique qui est prépondérant. Il y a alors très peu d'azote et des traces ou pas du tout d'oxygène. Je citerai, comme exemples à l'appui, les résultats fournis par deux de mes expériences prises au hasard. 50 grammes de feuilles ont donné :

	1° A la temp. du laboratoire, 23°.			2° A 100°.		
	Azote.	Acide carbonique.	Oxygène.	Azote.	Acide carbonique.	Oxygène.
Lilas.....	10 ^{cc} ,7	4 ^{cc} ,2	0 ^{cc} ,1	0 ^{cc} ,2	60 ^{cc} ,6	trace.
Noyer.....	9 ,9	6 ,2	0 ,5	0 ,5	17 ,5	trace.

L'extraction des gaz à une température élevée n'amène aucun changement appréciable dans la proportion d'oxygène et d'azote, ainsi que je m'en suis assuré par un grand nombre d'expériences. En effet, d'après les deux exemples que je viens de citer et pris au hasard parmi un grand nombre d'au-

tres, nous voyons que les quantités de ces deux gaz qui restent après la première extraction sont très faibles et incapables par cela même de troubler les résultats obtenus dans le premier cas, à plus forte raison le sens des variations. En conséquence, pour simplifier les manipulations et économiser du temps, j'ai cru suffisant de ne faire qu'une seule analyse de gaz, mais j'ai toujours eu soin de faire deux extractions, l'une, à la température du laboratoire et l'autre à 50 ou 60 degrés; ces deux extractions séparées sont indispensables. Car si on chauffait d'abord pour recueillir tout le contenu gazeux à une température élevée, on s'exposerait, ainsi que me l'ont démontré des expériences directes, à une absorption exagérée de l'oxygène qui se trouve dans les tissus par les éléments mêmes de ces tissus; par suite, la proportion de ce gaz fourni dans ce cas par les analyses serait trop faible. Mais je tiens à insister sur ce fait à cause des objections qui m'ont été posées, que la méthode d'une seule analyse que j'ai adoptée ne change en rien les résultats que j'aurais obtenus en faisant deux analyses séparées des gaz extraits à la température du laboratoire et à une température plus élevée. Les lois générales que j'ai déduites de l'ensemble de mes recherches se sont encore trouvées vérifiées par des expériences faites dernièrement dans le laboratoire de la Sorbonne sous la direction de M. Bonnier et en ne faisant, ainsi qu'on me l'avait conseillé, qu'une seule extraction à la température de 30° à 35°. La méthode que j'ai adoptée a sur celle-ci l'avantage d'extraire plus complètement les gaz sans apporter de trouble dans les résultats physiologiques ainsi que je l'avais vérifié avant son adoption.

C'est surtout de l'acide carbonique qui se dégage à une température élevée parfois, en quantité considérable, par rapport à ce qui a été extrait à la température normale. La difficulté qu'on éprouve d'extraire ce gaz dans ce dernier cas me porte à croire qu'il serait à l'état de combinaison dans les feuilles, soit à l'état de bicarbonates existant dans les plantes ainsi que l'ont constaté MM. Berthelot et André, soit qu'il

proviennent d'autres combinaisons, ou de réactions provoquées par une température relativement élevée. Du reste, il est probable que tout l'acide carbonique que nous trouvons dans les plantes n'est pas à l'état de combinaison, tel serait par exemple celui qu'on obtient facilement à la température normale qui serait soit libre dans les espaces intercellulaires, soit à l'état de simple dissolution dans les liquides de la plante.

A l'origine de mes recherches je prenais exclusivement des feuilles pour en extraire les gaz, évitant avec soin toutes les tiges ; ce procédé avait l'inconvénient de demander parfois beaucoup de temps. C'est alors qu'inspiré par le besoin d'opérer rapidement pour certaines observations, j'ai voulu savoir si le contenu gazeux des feuilles était bien différent de celui des tiges. Ces dernières, en effet, présentent à leur surface un nombre de stomates beaucoup plus restreint que les feuilles et offrent une épaisseur plus considérable, la structure aussi est différente, les communications entre les atmosphères extérieure et intérieure étant ainsi plus restreintes, il semble que les échanges gazeux doivent se faire plus difficilement. Pour vérifier le fait, le 11 mai, j'ai extrait les gaz de 50 grammes de feuilles adultes de fusain qui m'ont donné 16 centimètres cubes de gaz dont 13,3 pour 100 d'oxygène, une demi-heure après 50 grammes de tiges vertes de la même plante dépouillées de leurs feuilles et coupées de la longueur de 10 centimètres environ m'ont fourni 6^{cc},7 de gaz dont 12,7 p. 100 d'oxygène.

D'après ces deux premières expériences, nous remarquons immédiatement que la proportion d'oxygène est, dans les deux cas, à peu près la même, mais que la différence dans les volumes gazeux est considérable : dans les tiges ce volume n'est même pas la moitié de celui que j'ai trouvé dans le même poids de feuilles. J'ai remarqué en outre que l'extraction des gaz est plus difficile pour les tiges que pour les feuilles : à la température ordinaire on en extrait une quantité relative bien plus faible, pour avoir tous les gaz il faut

chauffer davantage. Au premier coup de pompe on voit une multitude de bulles gazeuses bien plus petites que celles qu'on voit s'échapper des feuilles dans les mêmes conditions se dégager presque exclusivement de la surface de section faite par les ciseaux en les coupant; il s'en échappe très peu de la surface latérale.

Après la constatation de ces faits j'ai voulu savoir si les variations diurnes que j'avais vues se produire dans les feuilles avaient aussi lieu dans les tiges. Les premières expériences que j'ai faites à ce sujet ont été des plus concluantes et m'ont prouvé que dans les tiges ces variations se produisent dans le même sens et sont de même ordre de grandeur que pour les feuilles. Voici du reste, sous forme de tableau, les résultats fournis par deux extractions de gaz le 25 juin, à 10 heures et à 11 heures du matin, sur des feuilles de fusain et le 29 du même mois sur des tiges prises sur les mêmes plantes et aux mêmes heures :

Gaz fournis par 50 grammes de feuilles.

	Azote.	CO ₂ .	Oxygène.	Oxygène p. 100.
10 heures.....	10 ^{cc} ,9	7 ^{cc} ,5	1 ^{cc} ,9	15,6
11 —	18 ,5	2 ,9	2 ,1	16,7

Gaz fournis par 50 grammes de tiges.

	Azote.	CO ₂ .	Oxygène.	Oxygène p. 100.
10 heures.....	5 ^{cc} ,4	4 ^{cc} ,0	1 ^{cc} ,0	15,4
11 —	6 ,3	2 ,8	1 ,3	17,1

Là encore nous voyons que la proportion d'oxygène est dans les deux cas à peu près identique; nous trouvons aussi plus de gaz dans les feuilles que dans les tiges. En outre, les expériences de 11 heures nous donnent dans les deux cas une augmentation dans la proportion d'oxygène, ainsi que cela doit être, comme nous le verrons bientôt dans le premier chapitre.

De tout ce qui précède nous concluons que dans les tiges la composition des gaz est la même que dans les feuilles, et que cette composition subit les mêmes influences dans les

deux cas. Pourtant, il est bon de remarquer que je n'ai opéré que sur des tiges jeunes, herbacées, dont les plus grosses avaient au plus un centimètre carré de section; il est probable qu'il n'en serait pas ainsi avec de grosses branches.

Après ces expériences, j'ai cru inutile de séparer les feuilles des tiges, et j'ai opéré en général sur des rameaux plutôt que sur des feuilles.

Expériences de contrôle.

Pour se rendre compte de la valeur des résultats obtenus il était indispensable de faire quelques expériences de contrôle. Je me suis assuré d'abord que l'eau que j'introduisais dans l'appareil était vraiment dépourvue de gaz. Plusieurs expériences faites à blanc ne m'ont donné que des bulles de gaz insignifiantes, 1/10 de centimètre cube au plus, souvent pas du tout; il est bien entendu qu'il faut que l'eau ait bouilli au moins pendant 20 minutes.

Il fallait savoir aussi quelles étaient les causes d'erreur de l'appareil en lui-même; nous allons voir qu'elles sont très faibles, et que les résultats de nos recherches peuvent être admis sans défiance à cet égard. J'ai fait à ce sujet avec l'appareil quatre analyses de l'air du laboratoire. Pour cela j'ai rempli l'allonge presque complètement d'eau bouillie, comme je le fais habituellement, mais au lieu d'introduire des feuilles j'ai laissé un peu d'air que j'ai extrait ensuite et analysé en opérant exactement de la même façon que pour l'extraction des gaz des feuilles; j'ai obtenu :

Première analyse.....	19,5 p. 100 d'oxygène.
Deuxième analyse.....	19,4 — —

Le lendemain :

Première analyse.....	19,8 p. 100 d'oxygène.
Deuxième analyse.....	19,9 — —

Les analyses faites le même jour donnent le même résultat à 0,1 pour 100 près, donc l'appareil peut être considéré

comme donnant des résultats très précis, très comparables.

Les feuilles sont-elles vraiment comparables ?

Telle est la dernière objection que je me suis posée, j'y répondrai par les quatre expériences que je vais décrire.

Le 28 novembre, à 9 heures et demie du matin, j'ai cueilli, par un temps sombre, une certaine quantité de feuilles de Lierre, dont j'ai fait deux lots de 50 grammes chacun. L'extraction des gaz du premier lot, faite immédiatement, m'a donné :

	11 ^{cc} ,8 de gaz.
Après KO,HO.....	10 ,6
Après l'acide pyrogallique.....	8 ,95
Oxygène.....	1 ^{cc} ,65

ce qui fait 14 pour 100 d'oxygène par rapport à l'azote.

Une demi-heure après, le deuxième lot m'a donné avec le même appareil :

	12 ^{cc} ,5 de gaz.
Après KO,HO.....	10 ,5
Après l'acide pyrogallique.....	8 ,95

ce qui fait 14,7 pour 100 d'oxygène par rapport à l'azote.

Dans les deux analyses, les proportions d'oxygène qui seules nous intéressent ne diffèrent que de 0,7 pour 100. Au point de vue absolu, cette différence devrait être considérée comme trop forte ; mais si nous considérons l'heure des deux extractions, il sera facile de se convaincre que cette différence est dans le sens ordinaire des variations horaires, ainsi qu'on le verra dans le chapitre suivant. La première expérience a été faite à une heure très voisine de celle qui correspond au minimum, et nous verrons qu'à partir de ce moment la proportion d'oxygène doit augmenter jusque vers midi ; or, la différence trouvée est de l'ordre des variations qui se produisent. Quoique ces deux expériences offrent des résultats très concluants, je ne m'en suis pas contenté, et le 1^{er} décembre j'ai renouvelé l'épreuve.

A 1 heure et demie j'ai cueilli un bouquet de rameaux de fusain sur le même pied et le plus identiques possible. A

2 heures j'ai pris 50 grammes de ces rameaux dont j'ai extrait les gaz, et j'ai trouvé :

	15 ^{cc} ,2 de gaz.
Après KO,HO.....	13 ,3
Après l'acide pyrogallique.....	11 ,0
Oxygène.....	2 ^{cc} ,3

ce qui fait 17,29 pour 100 d'oxygène par rapport à l'azote.

Trois quarts d'heure après cette première expérience j'ai pris un second lot de 50 grammes de rameaux de fusain identiques aux précédents et cueillis en même temps. L'extraction des gaz m'a donné :

	14 ^{cc} ,4 de gaz.
Après KO,HO.....	12 ,3
Après l'acide pyrogallique.....	10 ,3
Oxygène.....	2 ^{cc} ,0

et 16,25 pour 100 d'oxygène dans ces deux dernières expériences : la différence est encore plus accentuée que celle que j'ai trouvée avec le Lierre ; mais là encore cette différence se trouve dans le sens voulu par la loi des variations horaires.

Tous ces résultats sont concordants ; ils ne prouvent nullement que les feuilles ne sont pas comparables, au contraire ; mais il est évident que pour avoir des données identiques il faut absolument prendre des rameaux semblables et à la même heure. Je suis convaincu que dans ce cas nous n'aurions que des différences analogues à celles que nous avons eues pour l'air. Individuellement parlant, les feuilles ne doivent probablement pas avoir la même atmosphère interne, d'une façon absolue ; mais la quantité relativement considérable que j'en prends pour chaque expérience doit établir une certaine compensation. Donc nous concluons que les feuilles sont comparables, dans tous les cas où nous les avons considérées comme telles. Du reste nous verrons que les variations que nous avons toujours obtenues dans le même sens sont généralement d'un ordre plus élevé que celles que nous fournissent les expériences précédentes.

CHAPITRE PREMIER

VARIATIONS GÉNÉRALES DE LA COMPOSITION DES GAZ DES FEUILLES

Variations aux différentes heures de la journée.

Ce premier paragraphe de ce chapitre présente un intérêt tout particulier : il nous a, en effet, expliqué un grand nombre de résultats qui nous surprenaient et dont nous ne pouvions déterminer la cause. Cette étude présentait certaines difficultés : il nous a fallu d'abord, pour l'entreprendre, éliminer un grand nombre de causes de variations qui s'offraient à nous naturellement ; aussi, quoique cette partie de mon travail n'ait été faite que vers la fin de mes recherches, je crois devoir en donner connaissance de suite à cause de son importance. Instruit par des expériences antérieures, j'ai eu soin de ne prendre pour l'étude de ces variations horaires que des organes bien semblables, dans le même état, exposés de la même façon par rapport à la lumière, et autant que possible sur les mêmes plantes ; comme mesure de précaution, j'ai eu soin aussi de relever la température du milieu où je prenais les feuilles au moment où je les récoltais.

Les premières observations faites sur le sujet qui concerne ce paragraphe ont été réalisées le 19 septembre 1885, sur des feuilles de Lierre prises sur le même côté d'un berceau exposé au nord ; elles ont toutes été cueillies à l'ombre. En parcourant le tableau concernant les expériences de cette journée, on voit que la proportion d'oxygène fournie par la

première expérience de 7 heures et demie du matin est plus faible que celle qui a été donnée par la suivante faite deux heures plus tard ; celle de 11 heures et un quart nous donne un maximum du même gaz, à partir duquel on voit la proportion d'oxygène diminuer jusqu'à la dernière expérience de la journée qui a eu lieu à 5 heures et un quart.

Cette augmentation continue dans la proportion d'oxygène depuis 7 heures et demie jusqu'à 11 heures et un quart, suivie d'une décroissance également continue jusqu'à 5 heures et un quart, nous a profondément étonné. D'après la connaissance que nous avons acquise que, la nuit, généralement la quantité d'oxygène est plus considérable que pendant le jour, nous avons pensé immédiatement, d'après ce qui précède, qu'il devait y avoir dans la journée deux moments, un le matin, et l'autre le soir, où cette quantité d'oxygène était minimum. Dans l'espoir de déterminer ces deux heures du minimum d'oxygène, nous avons entrepris le 21 septembre une nouvelle série d'expériences plus complète. Ce jour-là nous avons commencé en effet à 7 heures du matin par un temps sombre, opérant cette fois sur des feuilles adultes de *Dahlia* que nous avons à notre disposition en grande quantité ; elles étaient toutes bien vivaces et exposées de la même façon par rapport à la lumière. Les résultats que nous attendions avec une vive impatience ont confirmé de tous points ceux qu'avaient fournis les expériences du 19 sur le *Lierre*. En outre, comme nous l'avions prévu, nous avons trouvé qu'il y avait réellement deux moments dans la journée où les feuilles présentent une quantité minimum d'oxygène.

La première expérience de 7 heures du matin nous a donné 14,9 p. 100 de ce gaz ; la suivante faite à 9 heures ne nous a fourni que 9,3 p. 100 du même gaz, différence considérable ; la troisième, faite à 11 heures, a donné 9,8 p. 100 ; à 1 heure nous avons obtenu 11,9 ; à 3 heures, 10,3 ; à 5 heures, 9,4 ; et enfin, à 7 heures et demie du soir, par une nuit sombre, nous avons eu 12,31 p. 100. Tous ces résultats seront donnés sous forme de tableau, et aussi, pour

rendre la chose plus saisissante, sous forme de courbe. D'après les chiffres que nous venons de citer, on voit que pour le 21 septembre, pour les feuilles dont nous nous sommes occupé, les deux minima d'oxygène ont eu lieu le matin entre 7 et 9 heures, et le soir après 5 heures. Quant au maximum, il a dû avoir lieu entre 11 heures et 1 heure. Le lendemain nous avons fait dans la matinée sur les mêmes plantes une nouvelle série d'expériences pour confirmer les précédentes : là encore la même loi s'est vérifiée; notre première expérience faite à 8 heures, encore temps sombre, nous a donné 8,7 p. 100 d'oxygène; à 9 heures, comme la veille, nous avons eu 9,3 p. 100 et enfin, à 11 heures et demie, 11,4.

On peut dire que ces résultats sont identiques aux précédents, et que la courbe qu'on pourrait construire est de même nature que la précédente. Le 23 et le 26 septembre nous avons fait des expériences analogues sur l'abricotier et le fusain, qui nous ont fourni des résultats tout à fait concordants avec les précédents. Le 26 du même mois, six expériences faites sur le lis ont pleinement confirmé celles que nous venons d'énumérer, ainsi qu'on pourra s'en assurer en parcourant le tableau. Le 1^{er} octobre nous avons réalisé une série de sept extractions des gaz des feuilles du noyer, qui nous ont fourni des résultats des plus intéressants.

Ce qui frappe d'abord dans les données de ces expériences, ce sont les variations énormes dans la proportion d'oxygène qui nous ont été révélées par ces résultats.

Notre première expérience, faite à 9 heures du matin par un vent violent, nous a fourni 11,2 p. 100 d'oxygène; l'expérience suivante, faite à 10 heures et un quart, ne nous a fourni que 6,1; différence énorme avec la première de 6 pour 100; en outre, la quantité d'acide carbonique obtenue dans cette dernière expérience est plus que doublée: 7^{cc},1 d'acide carbonique au lieu 2^{cc},5 dans la première. Tout ceci nous porte à croire qu'il y a eu entre ces deux expériences une activité protoplasmique des plus considérables.

A 1 heure et un quart, 14 pour 100 d'oxygène; puis à

partir de ce moment il y a eu une décroissance continue jusqu'à 5 heures moins un quart, où nous avons obtenu 8,25 pour 100. Enfin notre dernière expérience, faite à 8 heures moins un quart par une nuit sombre, nous a fourni 12,3 pour 100. Comme on le voit, les quantités d'oxygène représentent deux minimas, un compris entre 9 et 10 heures, et l'autre après 5 heures.

Le maximum doit être placé entre 11 heures et demie et 1 heure. Il y a lieu de remarquer d'abord que l'heure du minimum est plus tard que dans les expériences précédentes. Cela pourrait bien tenir à ce que le noyer sur lequel nous avons pris les feuilles se trouve placé derrière une maison qui lui cache le levant, or la cause retardataire du minimum nous paraît être, comme nous le verrons bientôt, le manque relatif de lumière. Quant à la quantité considérable d'oxygène que nous trouvons dans les feuilles de noyer, nous pensons devoir l'attribuer, d'une part à l'agitation de l'air par suite du vent violent qu'il a fait toute la journée; d'autre part, à l'époque avancée de la saison à laquelle nous avons fait ces expériences.

Tous les résultats que nous venons d'énumérer sont concluants, il ne nous est plus permis d'hésiter à admettre qu'il y a dans la journée deux moments où la quantité d'oxygène est minimum. D'après les résultats précédents, ces minima seraient placés l'un le matin entre 7 et 10 heures, cela dépend du jour et de la position de la plante par rapport à la lumière; l'autre, entre 3 heures et demie et 5 heures. Quant à l'heure du maximum d'oxygène, il doit être placé entre 11 heures et 1 heure; il correspond probablement au maximum de lumière.

Toutes les expériences que nous venons de décrire sur les variations horaires des quantités d'oxygène contenues dans l'atmosphère interne des plantes ont été faites entre le 19 septembre et le 1^{er} octobre. Quoique parfaitement concordantes, il y avait lieu de se demander si à une autre époque de l'année ce phénomène se produirait encore dans le même sens.

Le 25 mars 1886, dans l'après-midi, nous avons réalisé quatre extractions de gaz sur des feuilles de fusain, qui nous ont fourni des résultats tout à fait analogues à ceux du mois de septembre.

Depuis midi et demi nous avons obtenu dans la proportion d'oxygène une décroissance continue jusqu'à 4 heures 10 minutes, où nous avons eu 10 p. 100 d'oxygène. La dernière expérience faite à 5 heures et demie nous a fourni 15,9 p. 100. La courbe de ces quantités d'oxygène présente donc une élévation rapide entre 4 heures et demie et 5 heures et demie, ainsi qu'on le verra dans la planche des courbes.

Nous avons cru nous apercevoir que ces heures variables des minima devaient dépendre des variations de la lumière pendant la journée. S'il en est ainsi, des expériences analogues faites à des époques différentes de l'année devaient confirmer ces aperçus théoriques. C'est ce qui est arrivé.

Le 22 mai, par un temps splendide, le soleil a brillé depuis le matin sans le moindre nuage jusqu'à 4 heures et demie du soir. Nous avons fait une série de dix expériences d'extraction des gaz des feuilles de Sureau. La première de ces expériences, faite à 5 heures et demie du matin, nous a donné 9,1 p. 100 d'oxygène; toutes les autres nous ont donné jusqu'à 1 heure et demie des quantités croissantes de ce gaz; à partir de ce moment il y a eu décroissance; nous sommes passé par un minimum compris entre les expériences de 3 heures et demie et 4 heures et demie, puis la courbe s'est relevée ainsi qu'on peut le voir dans le tableau.

Nous remarquerons d'abord que le minimum du matin a dû se trouver ce jour-là avant 5 heures et demie. Si ce moment du minimum est ce jour-là plus tôt que pour les expériences de septembre et d'octobre, nous ne pouvons l'attribuer, il nous semble, qu'à l'influence de la lumière qui, à cette époque de l'année, par un beau soleil, est à cette heure assez vive. Quant au minimum du soir, s'il s'est présenté plus tôt que ne le faisaient prévoir les expériences faites antérieurement, cela doit tenir probablement à ce que le soleil s'est voilé rapidement.

Le 25 mai nous avons fait le matin trois autres expériences pour confirmer les précédentes, le temps était sombre, il faisait un grand vent. Les résultats que nous avons obtenus montrent qu'il y a un mouvement ascensionnel dans la proportion d'oxygène depuis 8 heures et demie jusqu'à 11 heures et un quart; mais il y a lieu de remarquer que ce jour-là les quantités d'oxygène sont plus considérables que les quantités correspondantes fournies par les expériences du 22, et pourtant dans les deux cas nous avons pris des feuilles identiques sur la même plante. Cette augmentation d'oxygène doit être attribuée à l'agitation de l'air, ainsi que nous nous en sommes convaincu plus tard. Comme dans la journée du 22 nous n'avons pu encore, dans celle du 25, déterminer l'heure du minimum qui avait eu lieu avant notre première expérience.

Le 5 juin nous avons fait une nouvelle série d'extractions de gaz bien plus complète que toutes les précédentes; elle comprend treize expériences faites sur des feuilles de Sureau prises sur la même plante que celles de la journée du 22 et du 25 mai.

Notre première expérience a été faite à 5 heures du matin, et la dernière à 5 heures et demie du soir. Toute la journée, le temps a été sombre; à de rares intervalles un peu de soleil très intermittent; à partir de 3 heures, pluie jusqu'au soir.

Ainsi qu'on le voit dans le tableau, nous avons eu un minimum le matin entre 6 et 7 heures, plus tard que le 22, parce que la lumière était moins vive. L'heure du maximum s'est trouvée placée comme toujours entre 11 heures et 1 heure; le minimum du soir a été donné par l'expérience de 3 heures, beaucoup plus tôt par conséquent que dans toutes les expériences que nous avons réalisées jusqu'ici. Est-ce à l'influence de la pluie qu'il faut l'attribuer, ou à une autre cause? nous ne pouvons nous prononcer quant à présent. En outre, le résultat de l'expérience de 9 heures semble mettre en défaut la loi que nous croyions établie de la crois-

sance continue de l'oxygène entre 8 heures et midi. En effet, nous avons eu 12,6 p. 100 d'oxygène, tandis que l'expérience suivante faite à 10 heures ne nous a donné que 11,6; la courbe représentative des quantités d'oxygène offre donc là un point d'inflexion, ce que nous n'avions jamais eu jusqu'à présent. Mais si nous remarquons que la lumière n'était pas régulière, qu'il y avait du soleil par intermittence, cette irrégularité ne fera que confirmer l'idée que nous avons eue d'attribuer à l'influence de la lumière les variations dans les quantités d'oxygène qui se trouve dans l'atmosphère interne des plantes. Du reste, ce point d'inflexion dans la courbe ne détruit pas notre théorie des minima et du maximum de la journée; il indiquerait seulement que la croissance et la décroissance peuvent ne pas être régulières; cette irrégularité ne peut se manifester que lorsque les expériences se suivent de très près. Malgré cette irrégularité, nous trouvons encore une quantité maxima d'oxygène à l'expérience de 11 heures; il est probable que la quantité de ce gaz a continué à s'accroître jusque vers midi pour décroître ensuite comme l'indiquent le tableau et la planche des courbes. Nous avons fait depuis des expériences sur le fusain pour savoir si vraiment il y a entre 9 et 10 heures une diminution dans l'oxygène, comme nous l'indiquent les données du 5 juin, mais nous n'avons rien trouvé de semblable : il y a variation continue.

Nous venons de dire que pour découvrir ces irrégularités si elles existent, dans les variations que nous étudions, il faudrait faire des expériences très rapprochées les unes des autres; mais les manipulations étant très longues et très pénibles, il n'est pas possible à une seule personne d'en faire plus d'une par heure, et encore on ne peut arriver à ce résultat qu'après une longue habitude. En fournissant treize expériences dans une journée, c'est tout ce qu'il est possible de donner, et ceci représente une somme d'au moins quinze heures d'un travail excessivement pénible qu'on ne pourrait produire qu'à de rares intervalles.

En résumé de tout ce qui précède, nous devons conclure que la proportion d'oxygène dans les plantes, relativement plus forte pendant la nuit, diminue pendant les premières heures de la journée, passe par un minimum qui correspond à des heures variables suivant les jours, les saisons et l'exposition de la plante par rapport à la lumière. A partir de ce minimum il y a croissance jusqu'à un maximum qui a lieu généralement entre 11 heures et 1 heure, puis décroissance jusqu'au minimum du soir, qui a lieu le plus souvent entre 4 et 6 heures. A partir de ce minimum une nouvelle croissance se produit et donne un maximum pendant la nuit entre minuit et 2 heures du matin.

Si, comme tout ce que nous venons de voir nous porte à le croire, la lumière est la cause de ces variations, les oscillations des proportions d'oxygène dans les plantes ne pourront être représentées par une courbe régulière et continue qu'à la condition que cet agent exercera une action régulière et continue, comme cela doit avoir lieu pendant une journée sans nuage par exemple, ou pendant une journée complètement privée de soleil. Les résultats fournis dans ce cas par mes expériences ont été, en effet, réguliers et continus. Les écarts que j'ai parfois constatés touchant cette loi générale doivent être attribués, il me semble, à une modification accidentelle dans l'éclairement ou à un mauvais choix dans les sujets à étudier, en comparant, par exemple, des organes qui ne sont pas comparables au point de vue qui nous occupe, tels que des feuilles jeunes à des feuilles adultes.

Il est facile maintenant de comprendre la nécessité absolue qu'il y a à prendre des organes identiques et placés de la même façon par rapport à la lumière. En ne prenant pas scrupuleusement toutes ces précautions, on s'exposerait aux résultats les plus erronés et les moins attendus.

La lumière est-elle le seul agent qui agisse sur ces variations journalières ? Nous ne pouvons l'affirmer, il est même probable que non. Pourtant, il me paraît que son influence est indéniable, ainsi que semblent nous le prouver les varia-

tions du minimum du matin à différentes époques de l'année : aux mois de septembre et octobre ce minimum n'a jamais eu lieu avant neuf heures ; tandis que pour les mois de mai et juin je l'ai toujours constaté avant sept heures, quelquefois même avant 5 heures et demie, ainsi qu'en témoignent les expériences du 22 mai.

Cette loi des variations horaires que nous venons d'établir par un grand nombre d'expériences, doit être générale, car toutes les plantes auxquelles nous nous sommes adressé nous ont donné des résultats similaires ; elle a été vérifiée aussi à des époques de l'année bien différentes ; en effet, les résultats fournis aux mois de septembre, octobre, mars, mai, juin et août, sont concordants. Cette année, je l'ai vérifié aussi dans le laboratoire de la Sorbonne le 17 novembre, par un temps clair mais très froid. Trois expériences faites avec des rameaux de Fusain m'ont donné successivement :

A 2 heures de l'après-midi.....	14,75	p. 100 d'oxygène.
A 4 heures et demie.....	13,11	— —
A 5 heures et demie (nuit sombre)...	17,42	— —

Je dois faire remarquer, avant de terminer ce chapitre, que le maximum de la nuit doit être plus élevé que celui de la journée, ainsi que je l'ai constaté par les expériences du 9 au 10 août sur des feuilles de Noyer, et par d'autres expériences isolées sur différentes plantes. Ces résultats mal interprétés m'avaient même porté à croire que la proportion d'oxygène dans les plantes est toujours plus élevée pendant la nuit que pendant le jour ; mais j'ai vu depuis que ces faits pouvaient être classés dans la courbe de la loi générale des variations journalières.

Pour interpréter physiologiquement les faits que je viens de relater, il faut absolument avoir recours à l'hypothèse, c'est ce que je vais faire avec prudence et sous toute réserve.

Tout ce que nous venons de voir dans ce chapitre, et beaucoup d'autres faits que je citerai plus loin, me portent à croire que le pouvoir absorbant du protoplasma pour l'oxygène doit

être soumis à des variations qui doivent être la cause de celles que nous venons de constater dans l'atmosphère interne des plantes. Si, en effet, le protoplasma, comme je le suppose,

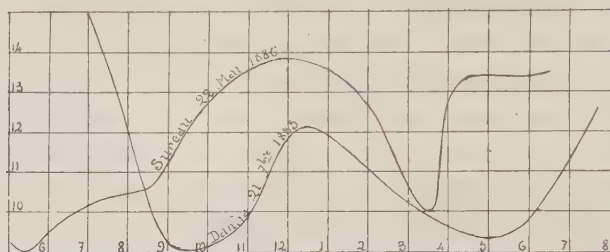


Fig. 2. — Courbes représentant les variations horaires des proportions d'oxygène dans l'atmosphère interne des feuilles. — Sur la ligne des abscisses sont indiquées les heures et sur celle des ordonnées la proportion p. 100 d'oxygène par rapport à l'azote. (Dahlia et Sureau.)

subit des fluctuations périodiques au point de vue de l'absorption pour l'oxygène, il est évident qu'à une absorption éner-

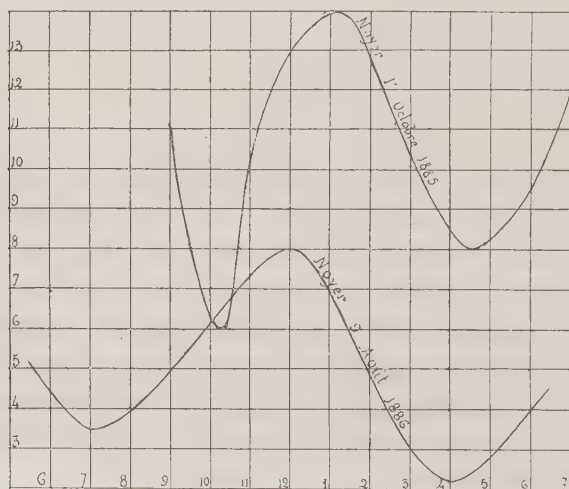


Fig. 3. — Courbes représentant les variations horaires des proportions d'oxygène dans l'atmosphère interne des feuilles. — Sur la ligne des abscisses sont indiquées les heures et sur celle des ordonnées la proportion p. 100 d'oxygène. (Noyer.)

gique doit succéder, dans l'intérieur de la feuille, une pauvreté relative d'oxygène, car on sait que les gaz se meuvent difficilement dans les tissus des feuilles à travers les mem-

branes cellulaires. Donc toute diminution dans le pouvoir absorbant des éléments doit se traduire, à l'intérieur, par une augmentation d'oxygène, qui est constamment mais lentement fourni par diffusion, par l'atmosphère ambiante, celle-ci étant toujours plus riche en gaz combustible que celle de l'intérieur de la plante.

J'ai voulu savoir par des expériences directes si on pouvait attribuer l'augmentation d'oxygène dans la plante, depuis le minimum du matin jusqu'au maximum du milieu de la journée, à l'influence de l'action chlorophyllienne. La réponse expérimentale est très nette, je la formulerai après avoir cité l'ensemble des faits qui vont faire la deuxième partie de ce chapitre, et après avoir présenté les tableaux concernant les variations journalières de la proportion d'oxygène dans les feuilles.

Tableau représentant les variations horaires pour les quantités d'oxygène et d'acide carbonique de l'atmosphère interne des plantes.

Noms des plantes.	Heure.	Température.	Proportion d'oxygène p. 100 par rapport à l'azote.	Acide carbonique.
19 septembre 1883. Lierre	7 1/2	11°	14,05	2°,4
	9 1/2	16,5	16,00	0 ,5
	11 1/4	16,5	16,39	0 ,9
	2	20	16,17	0 ,9
	4	17	14,19	1 ,7
	5 1/4	16,5	13,8	1 ,8
21 septembre 1883 (temps sombre toute la journée). Dahlia.....	7	13	14,9	2 ,2
	9	16	9,3	2 ,3
	11	17	9,8	3 ,2
	1	19	11,9	2 ,1
	3	19	10,3	2 ,6
	5	18,5	9,4	3 ,2
22 septembre 1883 (matin sombre). Dahlia.....	7 1/2	17	12,31	1 ,2
	8	13,5	8,7	3 ,7
	9	14	9,3	3 ,25
	1 1/2	18	11,4	1 ,9
28 septembre 1883. Lis.....	8	5	12,3	2 ,1
	9	8	15,6	1 ,1
	10 1/2	10	17,0	1 ,0
	12 1/2	12	18,7	1 ,3
	2	12,5	16,4	1 ,6
	4 1/2	11	15,55	1 ,2

Noms des plantes.	Heure.	Température.	Proportion d'oxygène p. 100 par rapport à l'azote.	Acide carbonique.
1 ^{er} octobre 1885.	9	11,5	11,2	2 ,5
	10 1/4	11,5	6,1	7 ,1
	11 1/4	13	11,1	6 ,0
	1 1/4	14	14,0	4 ,3
	3	13,5	10,4	3 ,0
Noyer.....	4 45'	12	8,25	3 ,8
	7 45'	10,5	12,3	2 ,2
	2	»	14,75	3 ,2
	4 1/2	»	13,11	2 ,2
	5 1/2	»	17,12	14 ,6
17 novembre 1887.	5 1/2	18	9,1	19 ,8
	6 45'	19	10,0	19 ,7
	8 1/2	21	10,6	15 ,7
	9 45'	22	12,5	14 ,6
	10 1/2	24	12,74	13 ,6
22 mai 1886.	1 1/2	26	13,2	13 ,4
	2 1/2	26,5	11,7	12 ,1
	3 1/2	26,5	10,0	13 ,7
	4 1/2	26,5	13,46	13 ,5
	5 1/2	26	13,3	11 ,1
25 mai 1886 (matin, vent).	8 1/2	15°	13,0	12 ^{co} ,2
	9 45'	16	13,4	10 ,0
Sureau.....	11 1/4	17	14,41	5 ,8
	5	14	9,28	14 ,1
	6	15	7,0	15 ,0
	7	15	6,9	16 ,8
	8	16	8,89	13 ,0
6 juin 1886.	9	16	12,6	11 ,1
	10	16,5	11,5	14 ,8
	11	17	13,5	9 ,4
	1	18	12,9	11 ,2
	2	18	11,11	10 ,8
Sureau.....	3	16	10,6	10 ,7
	4	15	12,24	10 ,2
	4 3/4	14	12,36	10 ,5
	5 1/2	14	14,83	9 ,9
	9 soir.	»	7,61	15 ,0
Exp. de vingt-quatre h. du 9 au 10 août 1886, sur les feuilles du noyer...	10 1/2	»	7,52	17 ,0
	Minuit.	»	7,00	18 ,7
	2	»	8,83	14 ,0
	4	»	6,07	16 ,3
	5 1/2	»	5,33	15 ,8
Midi.	7	»	3,52	17 ,5
	4	»	8,03	17 ,5
	6	»	2,43	17 ,3
			4,2	16 ,2

Études des variations journalières de la résultante des échanges gazeux entre la plante et le milieu extérieur sous l'influence de la lumière.

Cette étude était le complément nécessaire de celle qui précède. Je l'ai faite avec beaucoup de soin et par un grand nombre d'expériences sur les plantes aquatiques et sur les plantes terrestres.

Méthode employée pour les plantes aquatiques. — Un tube de verre de 0^m,08 de diamètre et de 0^m,60 de long était fermé à ses deux extrémités par un bouchon de caoutchouc percé d'un trou, à l'un des bouchons était adapté un robinet en cuivre, à l'autre un tube de verre coudé communiquant par un tube de caoutchouc avec un entonnoir, supporté par un pied à coulisse, ce qui permettait de l'élever à la hauteur qu'on voulait au-dessus du tube de verre.

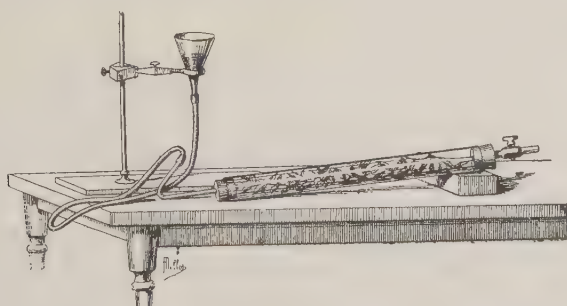


Fig. 4. — Appareil servant à l'étude des variations journalières du dégagement d'oxygène, par les plantes aquatiques sous l'influence de la lumière.

Les plantes étaient d'abord placées dans le tube de verre qu'on remplissait ensuite complètement d'eau chargée d'acide carbonique. Ce tube était ensuite exposé au soleil dans une gouttière en zinc, dans laquelle coulait constamment un courant d'eau froide qui baignait tout le tube; l'entonnoir restait fixé à 30 ou 40 centimètres au-dessus de la gouttière.

Sous l'influence des rayons solaires la chlorophylle décomposait l'acide carbonique et l'oxygène provenant de cette décomposition se rendait à la partie la plus élevée du tube qu'on

inclinait légèrement. L'eau déplacée par l'apparition du gaz était refoulée vers l'entonnoir. Dans la gouttière était un thermomètre qui indiquait la température de l'eau qui circulait autour du tube où étaient les plantes.

Après une heure et demie ou deux heures d'exposition à la lumière, les gaz étaient recueillis et analysés. Pour recueillir les gaz, l'appareil était complètement plongé dans une grande cuve à eau et redressé de façon à amener tous les gaz du côté du robinet; celui-ci ouvert, ils passaient dans une cloche graduée. L'acide carbonique était absorbé par la potasse et l'oxygène mesuré toujours par la méthode eudiométrique.

Hâtons-nous de dire que les erreurs commises par suite de la dissolution des gaz dans l'eau sont sans importance lorsqu'il s'agit d'expériences comparatives du genre de celles que nous avons faites. Ce qu'il nous importait surtout de connaître, c'était la quantité d'oxygène dégagé; or, ce gaz est très peu soluble dans l'eau.

Cette analyse achevée, on laissait les plantes dans l'appareil, mais on enlevait l'eau pour la remplacer par la dissolution primitive d'acide carbonique afin d'opérer toujours dans des conditions comparables. Les mêmes plantes servaient pour toute la journée. Grâce au courant d'eau froide dans la gouttière, la température restait à peu près constante. Cet appareil très simple, facile à manier, offre une assez grande précision; les plantes se trouvaient dans des conditions normales de température; l'eau dans laquelle elles étaient placées dissolvait non seulement de l'acide carbonique, mais aussi de l'air qui devait probablement suffire à la respiration des plantes pendant la durée de l'expérience.

Il résulte de l'ensemble de ce travail que la température ne paraît pas avoir une grande influence sur l'action chlorophyllienne, du moins dans les conditions où j'ai expérimenté, et que cette action chlorophyllienne est toujours proportionnelle à l'éclairement: plus celui-ci est considérable, plus celle-là est énergique.

Lorsqu'on opère par une belle journée, le maximum d'oxy-

gène produit a lieu généralement entre dix heures et midi; quelquefois même ce maximum a lieu avant dix heures pour les plantes aquatiques. Les expériences du 15 juin faites par un temps nuageux prouvent parfaitement que la quantité d'oxygène produite ne dépend pas de l'heure de la journée, mais bien de l'éclairement. Ce jour-là, en effet, le soleil ne se montrait que par intervalles. De onze heures quarante minutes à une heure dix minutes il s'est produit un minimum d'oxygène comparativement aux autres expériences de la journée, alors que nous aurions dû avoir un maximum.

Ce résultat obtenu ne peut être attribué qu'à ce que, pendant tout ce temps, il n'y a eu qu'une demi-heure de soleil; le reste du temps le ciel était couvert de gros nuages noirs, la lumière était très faible.

Je vais maintenant résumer, dans un tableau, les résultats les plus intéressants fournis par mes recherches.

**Oxygène dégagé sous l'influence de l'action chlorophyllienne
par 100 grammes de plantes entières.**

14 juin. — Une heure et demie d'exposition à la lumière (*Elodea canadensis*).

Heures de la journée.	Oxygène en centimètres cubes.	Température.	Observations.
De 11 h. 15 m. à 12 h. 45 m.	88,0	23°	} Beau soleil tout le temps.
De 1 h. 00 m. à 2 h. 30 m.	67,5	23	
De 2 h. 45 m. à 4 h. 15 m.	32,5	24	
De 4 h. 20 m. à 5 h. 50 m.	27,5	23	

15 juin. — Une heure et demie d'exposition (*Ceratophyllum demersum*).

De 10 h. 00 m. à 11 h. 30 m.	54,0	24°	Soleil tout le temps.
De 11 h. 40 m. à 1 h. 10 m.	15,5	24	1/2 h. de soleil seulement.
De 1 h. 15 m. à 2 h. 45 m.	36,7	25	Une heure de soleil.
De 2 h. 50 m. à 4 h. 20 m.	18,3	24	Une heure de soleil.

19 juin. — Une heure et demie d'exposition (*Potamogeton crispus*).

De 8 h. 30 m. à 10 h. 00 m.	79,5	24°5	} Soleil tout le temps.
De 10 h. 10 m. à 11 h. 40 m.	63,3	24,5	
De 11 h. 45 m. à 1 h. 15 m.	69,3	24,5	
De 3 h. 15 m. à 4 h. 45 m.	28,8	24,0	
De 4 h. 50 m. à 6 h. 20 m.	23,6	23,5	

24 juin. — Deux heures d'exposition (*Ceratophyllum demersum*).

Heures de la journée.	Oxygène en centimètres cubes.	Température.	Observations.
De 5 h. 45 m. à 7 h. 45 m.	7,0	20°5	Un peu de brouillard.
De 7 h. 45 m. à 9 h. 45 m.	29,7	23,5	Soleil tout le temps.
De 9 h. 45 m. à 11 h. 45 m.	40,7	23,5	
De 12 h. 00 m. à 2 h. 00 m.	40,5	23,5	
De 3 h. 30 m. à 5 h. 30 m.	7,0	23,0	

25 juin. — Une heure trois quarts d'exposition (*Elodea canadensis*).

De 8 h. à 9 h. 45 m.	38,7	24°0	Soleil tout le temps.
De 10 h. à 11 h. 45 m.	79,1	24,0	
De 12 h. à 1 h. 45 m.	60,2	24,0	
De 2 h. à 3 h. 45 m.	32,0	23,5	
De 4 h. à 5 h. 45 m.	16,0	23,0	

En examinant le tableau qui précède, on voit que les plus grandes quantités d'oxygène dégagé correspondent au maximum de lumière et non à l'heure de la journée; nous verrons qu'il en sera de même pour les plantes terrestres.

Méthode. — L'étude de la résultante des échanges gazeux, entre la plante et l'atmosphère ambiante sur des rameaux feuillés tenant à leur pied, a toujours présenté de grandes difficultés, les appareils qui ont été employés jusqu'à ce jour laissent beaucoup à désirer soit par leur complication, soit parce qu'ils ne permettent d'opérer que sur des rameaux de petites dimensions. Celui que j'ai imaginé me paraît offrir de grands avantages: il est simple, facile à manipuler et peut être construit avec des dimensions très variables; en outre, l'isolement de la plante ou de la partie de plante qu'on étudie est parfait, il ne peut y avoir aucun échange gazeux entre l'atmosphère ambiante et celle de l'intérieur de l'appareil.

Il se compose essentiellement d'une platine de machine pneumatique en fonte, dressée, divisée en deux moitiés par une section diamétrale, et formant ainsi deux demi-cercles. Ces deux demi-cercles sont réunis à l'une des extrémités de la section diamétrale par une charnière; à l'autre extrémité

se trouve une vis avec écrou, qui permet de réunir les deux parties aussi solidement que si le tout était formé d'un seul morceau. Au centre se trouve une ouverture circulaire, pratiquée dans les deux moitiés de la platine destinée à recevoir la tige du sujet qui doit servir aux expériences. Cette tige est assujettie dans cette ouverture, au moyen d'un bouchon

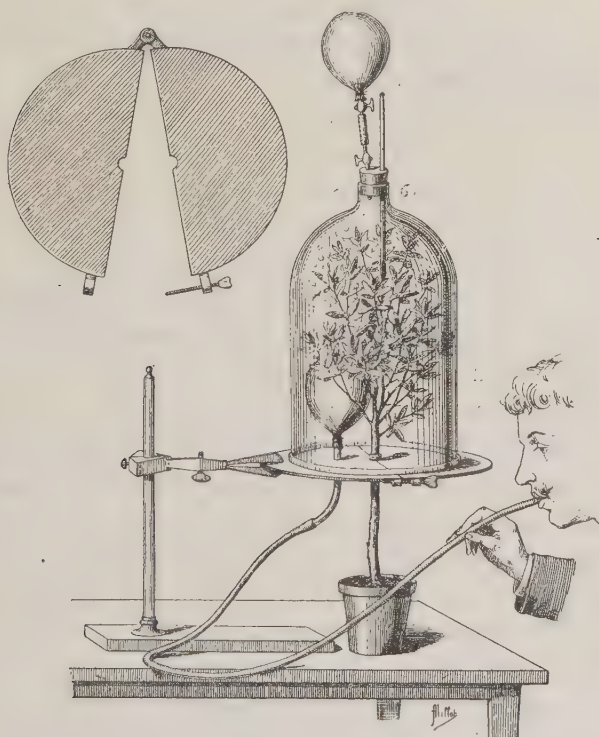


Fig. 5. — Appareil pour l'étude des variations horaires du dégagement d'oxygène par les plantes aériennes sous l'influence de la lumière.

de caoutchouc percé d'un trou central, et fendu selon une de ses génératrices, pour permettre le passage de la tige au centre du bouchon. On graisse avec du suif si c'est nécessaire, pour que la fermeture soit hermétique. Grâce à l'élasticité du caoutchouc, la tige n'est ni blessée ni gênée par la pression de l'appareil, elle se trouve ainsi dans des conditions physiologiques normales.

Je place ensuite sur cette platine, au centre de laquelle se trouve engagée la tige de la plante, une cloche en verre, tubulée à sa partie supérieure et rodée sur sa circonférence de base ; la tubulure supérieure est fermée avec un bouchon à deux trous, dont l'un reçoit un robinet de cuivre, et l'autre, la tige d'un thermomètre qui pénètre dans l'appareil. La cloche est hermétiquement fixée sur la platine par de la gutta-percha : c'est, après plusieurs essais, la substance qui m'a le mieux réussi.

La plante étant ainsi isolée, je fais passer dans l'appareil 50 litres d'un mélange connu d'air et d'acide carbonique ; les gaz pénètrent dans la cloche par un tube de cuivre muni d'un robinet, qui est soudé dans la platine et la traverse ; ils sortent par la tubulure supérieure.

Pour avoir rigoureusement la composition de l'atmosphère qui environne la plante, je fais une prise de gaz pour l'analyser, immédiatement avant l'exposition à la lumière, puis une deuxième prise à la fin de cette exposition.

Ces prises de gaz se font au moyen d'un système particulier que je crois devoir décrire ; il consiste en deux vessies de caoutchouc, dont l'une est placée à l'intérieur de l'appareil, et communique au dehors par un tube soudé à la platine, qu'il traverse ; l'autre peut se fixer au robinet de la tubulure supérieure, et est munie elle-même d'un robinet. Pour faire une prise de gaz, on fait le vide dans la vessie à robinet, puis on la fixe à la tubulure supérieure de la cloche, par un petit tube de caoutchouc, et l'on met son intérieur en communication avec celui de l'appareil. On insuffle ensuite la vessie intérieure, l'augmentation de pression qui en résulte fait remplir de gaz la vessie supérieure ; on la comprime ensuite pour faire repasser son contenu dans l'appareil, puis on insuffle de nouveau la vessie intérieure, et celle qui sert de collecteur se remplit une deuxième fois, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on juge suffisante l'homogénéité de toute la masse gazeuse. Enfin, on remplit la vessie supérieure une dernière fois, et l'on fait passer son contenu

gazeux, dans une cloche graduée reposant sur le mercure pour l'analyser.

L'acide carbonique est absorbé par la potasse, et l'oxygène est dosé par la méthode eudiométrique.

Toutes mes analyses ont porté généralement sur 70 à 80 centimètres cubes de gaz; le volume total de la cloche est de 1,600 centimètres cubes. Si j'ai tant insisté sur le système à prise de gaz, c'est parce que, dans ces expériences, il est de la plus haute importance de rendre homogène la masse gazeuse, or par ce procédé on y arrive très facilement, il n'en serait pas de même en prenant les gaz avec une seringue par exemple.

Tel est l'appareil qui m'a servi pour les expériences qui font l'objet de cette étude, il pourrait servir à bien d'autres déterminations, la transpiration par exemple, etc.

Mes expériences ont porté sur des pieds d'Hortensia, des rameaux de Lilas et de Fusain, elles ont toutes donné des résultats concordants et analogues à ceux que nous avons déjà cités pour les plantes aquatiques. Il est à remarquer qu'avec cet appareil je n'ai que la résultante des échanges gazeux; je n'ai pu juger de l'énergie de l'action chlorophyllienne que par l'augmentation d'oxygène dans l'atmosphère de l'appareil; il m'est arrivé souvent, par des temps sombres, que la proportion d'oxygène au lieu d'augmenter diminuait, cela se comprend facilement. J'ai généralement employé comme atmosphères artificielles de l'air mélangé de 9 à 10 pour 100 d'acide carbonique. Lorsqu'il s'agissait d'expériences comparatives pour une même journée, j'avais soin de renouveler chaque fois complètement l'atmosphère de l'appareil, pour opérer toujours dans les mêmes conditions.

Je tiens à signaler en passant que, quoique généralement le volume d'acide carbonique disparu fût égal à celui de l'oxygène apparu, j'ai pourtant observé quelquefois, lorsque la lumière était très vive et la fonction chlorophyllienne très active surtout le matin, que le volume d'acide carbonique disparu était inférieur à celui de l'oxygène produit; il semble

que dans ces conditions l'action chlorophyllienne s'exerce sur l'acide carbonique existant préalablement dans la plante, mais là n'étant pas le but de mes recherches, je ne fais que signaler ce que j'ai observé sans insister davantage.

En résumé, de toutes mes expériences il résulte que la fonction chlorophyllienne, à différentes heures de la journée, est proportionnelle à l'intensité de la lumière. Pour s'en convaincre, il suffira de parcourir le tableau fourni par mes expériences du 10 mai, sur un pied d'Hortensia; il est de tous points comparable à celui que j'ai publié au sujet des plantes aquatiques. Je pourrais ajouter à ce tableau des résultats d'un grand nombre d'autres expériences, mais il me suffira de dire qu'ils sont tous concordants.

Tableau représentant les résultats des échanges gazeux entre un pied d'Hortensia du poids de 10 grammes (feuilles et tiges seulement) et le milieu ambiant (deux heures d'exposition à la lumière).

Heures de la journée.	Proportion d'oxygène p. 100 dans l'appareil à la fin de l'expérience après absorption de CO ₂ .	Volume total d'oxygène produit.	Observations.
De 6 h. 30 m. à 8 h. 30 m.	20,6	0 ^{cc} ,00	30 m. de soleil seulem.
De 8 h. 45 m. à 10 h. 45 m.	21,80	14 ,00	Soleil tout le temps.
De 11 h. 00 m. à 1 h. 00 m.	22,68	29 ,00	Id.
De 1 h. 15 m. à 3 h. 15 m.	22,33	23 ,00	Id.
De 3 h. 30 m. à 5 h. 30 m.	22,37	25 ,00	Id.
De 5 h. 45 m. à 7 h. 45 m.	21,20	6 ,4	20 minutes de soleil.

J'ai toujours eu la plante dans une atmosphère saturée d'humidité; en effet, à peine était-elle enfermée dans la cloche, que la surface interne de celle-ci se recouvrait de buée, et après quatre ou cinq minutes on voyait l'eau ruisseler le long des parois.

De tout ce que nous venons de voir sur les échanges gazeux des plantes à la lumière, il sera facile de conclure que la fonction chlorophyllienne n'est pas la cause de l'accroissement de la proportion d'oxygène dans les feuilles, depuis le minimum du matin jusqu'au maximum du milieu

de la journée, car nous avons vu que par un temps sombre, même à midi, les plantes peuvent absorber de l'oxygène au lieu d'en dégager. Donc, ce jour-là, le maximum de midi, s'il était dépendant de l'action chlorophyllienne, n'existerait pas ou du moins serait très atténué, or, nous l'avons toujours constaté tout aussi bien par un temps sombre que par un beau soleil, et dans les deux cas avec le même ordre de grandeur. Je puis, du reste, par deux courbes schématiques représentant ces deux fonctions, montrer que ces deux phéno-

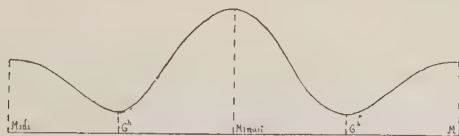


Fig. 6. — Courbe schématique représentant la marche des variations journalières de la proportion d'oxygène dans l'atmosphère interne des plantes.

mènes sont tout à fait indépendants. Nous connaissons déjà la courbe des variations d'oxygène pendant vingt-quatre

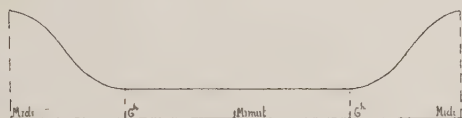


Fig. 7. — Courbe schématique représentant le dégagement d'oxygène par une plante à différentes heures de la journée.

heures, mais il est bon de la mettre en présence d'une autre courbe, représentant l'augmentation d'oxygène dans l'atmosphère ambiante d'une plante sous l'influence de l'action chlorophyllienne.

Pour avoir l'explication de la courbe n° 1, il suffira de se reporter aux tableaux précédents, sur les quantités d'oxygène dégagées par une même plante à différentes heures de la journée.

Variations de la proportion d'oxygène dans les plantes à différentes époques de l'année. — Pour les plantes à feuillage caduc et pour les plantes annuelles, la proportion d'oxygène dépend de l'âge de l'organe, nous en reparlerons dans

un autre chapitre. Quant à ce qui concerne les plantes à feuillage persistant, nous croyons que l'époque de l'année n'a aucune influence sur la composition du contenu gazeux. A l'appui de notre assertion il suffira de mettre sous les yeux de nos lecteurs un tableau indiquant les proportions d'oxygène données par le fusain à différentes époques de l'année, pour des feuilles adultes prises toutes vers neuf heures du matin. Je crois intéressant d'ajouter à ces données les températures correspondant au moment où on a cueilli les feuilles.

Tableau de proportions d'oxygène par rapport à l'azote contenues dans les feuilles adultes de Fusain à différentes époques de l'année.

Époque de l'année.	Oxygène p. 100.	Température.
11 janvier.....	14,5	— 3°
15 février.....	15,2	+ 2
11 mars.....	15,8	2
21 mars.....	15,4	11
2 avril.....	15,7	14
16 avril.....	14,0	8
4 mai.....	14,7	17
15 juillet.....	15,4	22
5 août.....	14,5	18
14 septembre.....	12,15	18
26 septembre.....	11,15	8
8 décembre.....	15,7	1

En parcourant rapidement ce tableau, on voit que nous ne trouvons pas ici les différences considérables que nous trouverons au sujet du Lilas, du Noyer, et en général chez toutes feuilles caduques. Les faibles différences que nous constatons ici sont en partie dues à ce que les feuilles ont été prises sur des plantes différentes, et différemment exposées, ainsi par exemple les expériences du mois de septembre donnent des nombres relativement très faibles : cela tient à ce que nous avons opéré avec des feuilles prises à Clamart sur des plantes situées en plein jardin, bien éclairées, tandis que toutes nos autres expériences ont été réalisées au Muséum sur des plantes généralement mal éclairées, à l'ombre une

partie de la journée, et moins bien aérées que celles qui se sont développées à la campagne en plein champ.

En résumé, nous admettons que chez les plantes à feuillage persistant l'époque de l'année n'a aucune influence sur l'atmosphère interne des plantes. Il en est de même, en réalité, pour les plantes à feuilles caduques, mais là l'intermittence de la végétation joue un grand rôle que nous expliquerons plus tard.

CHAPITRE II

INFLUENCE DES CONDITIONS EXTÉRIEURES SUR LE CONTENU GAZEUX DES PLANTES

1° Influence de la température.

En nous reportant au tableau du chapitre précédent, nous voyons que pour le Fusain avec des températures bien différentes nous obtenons des proportions d'oxygène à peu près identiques. Nous avons vu aussi dans le chapitre des variations diurnes que, pour des températures rigoureusement les mêmes, nous avons obtenu pour différentes plantes des proportions d'oxygène bien différentes. Toutefois, il est une de nos expériences qui nous porte à croire que l'action d'une basse température n'est pas toujours sans influence sur le contenu gazeux des feuilles. Il semblerait en effet résulter de nos observations que lorsque le froid a été assez vif et assez persistant pour ralentir la vitalité de la plante, la proportion d'oxygène augmente : le 8 février à 9 heures 1/2 du matin la température était de 1 degré, la nuit avait été très froide, les quatre jours précédents le thermomètre ne s'était pas élevé, pendant la journée, au-dessus de 4 degrés, et la nuit il était descendu à plusieurs degrés au-dessous de zéro. 50 grammes de feuilles de Fusain dont nous avons extrait les gaz nous ont donné 19,6 p. 100 d'oxygène. Cette dose est énorme, c'est la plus forte que nous ayons obtenue lorsque nous avons opéré sur des plantes à l'état normal. Ce résultat doit-il être attribué au froid ou à l'agitation de l'air? Nous serions porté à croire que c'est surtout à cette dernière cause qu'il faut

attribuer cette augmentation exagérée dans la proportion d'oxygène, ainsi que tendent à le faire croire nos expériences sur les variations artificielles des gaz des feuilles, ainsi que les faits suivants :

Le 8 décembre, par une température de 1 degré, à 3 heures de l'après-midi, nous n'avons trouvé dans les feuilles de fusain que 15,7 p. 100 d'oxygène. Des feuilles de Saxifrage cueillies sous la neige ont donné seulement 11,4 p. 100 du même gaz ; ce qui prouverait que pour ces plantes l'activité protoplasmique est encore à de si basses températures assez énergique. Des feuilles jeunes de lierre, prises à une température de 3 degrés au-dessous de zéro, ont donné 8,6 p. 100. Dans une autre expérience, la même plante à une température de 5 degrés au-dessous de zéro a fourni 12,14 p. 100 d'oxygène, tandis que la moyenne pour la proportion de ce gaz dans ces plantes est de 14,3 p. 100, en temps ordinaire. Qu'il nous soit permis de citer encore les résultats de deux expériences qui nous paraissent bien concluantes : le 10 mars, à midi et demi, 50 grammes de feuilles de fusain prises au soleil par une température de 5 degrés ont donné 12,7 p. 100, la nuit la température s'était abaissée jusqu'à moins 5 degrés. Quinze jours après 60 grammes de feuilles des mêmes pieds de Fusain, prises encore à midi et demi par un beau soleil et une température de 20 degrés, ont fourni 12,3 p. 100 de gaz comburant. On peut dire que, dans les deux cas, la proportion d'oxygène est la même.

De tout ceci, il résulte d'une façon évidente que dans les conditions où nous nous sommes placé, la température n'a pas d'influence appréciable sur la proportion d'oxygène contenu dans les plantes. C'est un facteur négligeable dans des expériences analogues à celles que nous avons réalisées. Pourtant si la température était suffisamment basse pour produire un arrêt ou un affaiblissement considérable et brusque des fonctions vitales de la plante qu'on étudie, il est évident que dans ces conditions nous trouverions dans la plante une augmentation d'oxygène libre, ainsi qu'en témoignent les faits suivants :

Nous avons pris, le 5 avril, des lentilles d'eau (*Lemna*) au soleil, à la température de 25 degrés, nous les avons portées dans le laboratoire et nous en avons fait deux lots. L'un de ces lots a été placé dans un cristalliseur avec de l'eau à la température du laboratoire de 20 degrés. l'autre dans de l'eau également à la température du laboratoire; mais nous avons entouré le vase qui les contenait d'un mélange réfrigérant. A l'intérieur du vase qui contenait les lentilles, l'eau est descendue rapidement à la température de zéro, et une partie de cette eau s'est congelée.

Deux heures et demie après nous avons pratiqué l'extraction du gaz du premier lot, et l'analyse nous a fourni 14,08 p. 100 d'oxygène; une heure après, nous avons fait également l'extraction des gaz des lentilles refroidies qui nous ont donné 16,31 p. 100 de ce même gaz.

Cette augmentation ne peut être évidemment attribuée qu'au refroidissement brusque et intense auquel nous avons soumis ces plantes.

Ces deux expériences sont de tous points analogues à celles que nous avons faites sur les insectes (1).

2° Agitation de l'air.

Toutes choses égales d'ailleurs, la proportion d'oxygène dans les plantes est plus forte lorsque l'air est agité.

Ceci résulte de l'ensemble de nos recherches, je n'en citerai qu'un exemple : Le 22 mai, trois extractions de gaz faites successivement le matin sur le Sureau m'ont donné comme proportion d'oxygène : 10,6; 12,5 et 12,7. Deux jours après, aux mêmes heures, des feuilles identiques prises sur la même plante, mais par un vent violent, ont donné : 13; 13,4 et 14,4 p. 100 d'oxygène. Je pourrais citer d'autres exemples, mais je crois ceux-ci suffisants. Nous verrons qu'il en est de même lorsqu'on agite les plantes artificiellement.

(1) *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, 7 juin 1886.

CHAPITRE III

VARIATIONS DU CONTENU GAZEUX DES PLANTES AVEC LA STRUCTURE DES FEUILLES

Influence de l'âge de l'organe.

A. *Feuilles jeunes et feuilles adultes.* — Les organes jeunes et les organes adultes ne consomment pas la même quantité d'oxygène, toutes choses égales d'ailleurs. Partant de ce fait bien connu en physiologie végétale, j'ai été amené naturellement à comparer ces organes entre eux, au point de vue de leur contenu gazeux. Comme je le prévoyais, d'après mes expériences antérieures, j'ai toujours trouvé moins d'oxygène libre dans les feuilles jeunes que dans les adultes, et dans celles-ci moins que dans les feuilles étiolées.

Les premières expériences que j'ai faites à ce sujet ont été réalisées le 29 juin 1885, elles ont porté sur 58 grammes de pétales de fleurs de lis parfaitement épanouies. Ces organes peuvent être considérés comme adultes et même bien près de l'étiollement; l'analyse des gaz que j'en ai extraits m'a donné 12,82 p. 100 d'oxygène. Le lendemain à la même heure, j'ai pris aux mêmes plantes 50 grammes de pétales de fleurs non épanouies, un peu verts, offrant tous les caractères de jeunesse relative; les gaz extraits de ces organes ne m'ont donné que 4,3 p. 100 d'oxygène. Ces expériences étaient concluantes, elles répondaient parfaitement à mes prévisions. J'aurais voulu poursuivre de suite cette étude qui m'intéressait vivement, mais je n'ai pu le faire que plus tard pendant les mois d'août et de septembre. J'ai profité alors de

ce fait qu'à cette époque de l'année sur un grand nombre de plantes se trouvent à la fois des feuilles jeunes, en plein développement, à côté de mêmes organes tout à fait adultes. La comparaison faite dans ces conditions peut être rigoureuse, pourvu qu'on ait soin de prendre dans les deux expériences les feuilles sur la même plante, dans les mêmes conditions d'éclairement et au plus à une heure d'intervalle.

Il est facile de distinguer au premier aspect les feuilles jeunes de ces mêmes organes adultes, elles offrent une teinte d'un vert plus tendre, moins foncé, au toucher elles sont moins dures, plus flexibles. Nous avons fait un grand nombre d'expériences qui toutes nous ont donné des résultats concordants, à l'exception d'une seule, et cette exception apparente, pour nous, ne fait que confirmer la règle comme nous allons le voir. Nous avons obtenu ces résultats contradictoires avec des feuilles jeunes de poirier cueillies à l'extrémité des branches : quoique plus jeunes et d'un vert moins foncé que les feuilles adultes auxquelles nous les avons comparées, nous avons trouvé dans les deux cas à peu près la même proportion d'oxygène. Nous avons d'abord été étonné de ce résultat qui était tout à fait contraire à ce que nous avions obtenu jusqu'alors, nos théories semblaient renversées d'un seul coup ; les expériences ayant été faites rigoureusement, nous devons nous incliner devant les faits. Nous avons cherché alors à nous rendre compte de ce résultat : nous croyons qu'il doit être attribué à ce que l'arbre sur lequel nous avons pris les feuilles avait été fortement éprouvé par la sécheresse et ces feuilles, quoique jeunes, étaient sèches et coriaces à peu près au même degré que les feuilles adultes auxquelles on les comparait. Nous avons pensé que l'activité protoplasmique ne devait pas être plus énergique. Cette expérience nous montre que ce n'est pas à l'âge de l'organe qu'il faut attribuer les variations dans les quantités d'oxygène, mais bien aux variations de l'énergie des fonctions vitales qui sont la conséquence de cet âge. Ces résultats, loin de présenter une exception à la règle, ne font que la confirmer.

Avant de comparer les feuilles adultes aux feuilles étiolées, nous allons donner dans le tableau suivant le résultat de trente-six extractions et analyses de gaz faites comparative-ment sur 18 plantes différentes. En parcourant le tableau on voit qu'en général la différence dans les proportions d'oxy-
gène est d'autant plus grande qu'à l'état adulte la plante en contient davantage.

Tableau comparatif des proportions d'oxygène contenues :
1° dans les feuilles jeunes; 2° dans les feuilles adultes.

Noms des plantes.	Proportion d'oxygène, p. 100 du volume total d'oxygène et d'azote	
	Feuilles jeunes.	Feuilles adultes.
Vigne vierge (<i>Ampelopsis quinquefolia</i>).	trace.	6,3
Laurier.....	1,0	10,8
Châtaignier (<i>Castanea vulgaris</i>).....	3,7	6,6
Chêne (<i>Quercus Robur</i>).....	0,4	2,72
Lierre (<i>Hedera Helix</i>).....	11,6	13,8
Fusain (<i>Evonymus japonicus</i>).....	6,8	17,2
Sureau (<i>Sambucus nigra</i>).....	3,3	9,9
Peuplier (<i>Populus pyramidalis</i>).....	2,0	3,0
Sycomore (<i>Acer pseudo-Platanus</i>)....	1,1	10,3
Glycine (<i>Wistaria sinensis</i>).....	6,0	8,3
Bouleau (<i>Betula alba</i>).....	1,0	1,3
Laitue (<i>Lactuca sativa</i>).....	2,0	6,0
Dahlia (<i>D. variabilis</i>).....	2,4	6,3
Pêcher (<i>Amygdalus Persica</i>).....	2,0	6,3
Chou (<i>Brassica oleracea</i>).....	2,4	3,6
Sureau (<i>Sambucus nigra</i>).....	2,6	7,2
Capucine (<i>Tropæolum majus</i>).....	10,7	12,7
Lis (pétales) (<i>Lilium candidum</i>).....	4,34	12,82

B. *Feuilles adultes et étiolées.* — Nous avons ensuite com-
paré le contenu gazeux des feuilles adultes en pleine activité,
bien vertes, à celui des feuilles jaunies, étiolées, desséchées
en partie, sur le point de se détacher de la plante.

Nous pensions, d'après ce qui précède, trouver une grande
différence dans la proportion d'oxygène des unes et des au-
tres, mais les résultats de nos expériences nous ont montré
que si cette différence existe dans le sens que nous avions
prévu, elle n'est pas aussi considérable que nous l'avions

pensé ; elle est en général très faible, de 1 ou 2 p. 100 seulement, tandis que dans les feuilles jeunes et adultes nous avons eu jusqu'à 10 p. 100 de différence. Pourtant il est bon d'ajouter que si les quantités d'oxygène sont peu différentes, il n'en est pas de même de l'acide carbonique qui, dans les feuilles étiolées, n'est généralement que la moitié de celui qui se trouve dans les feuilles adultes prises dans les mêmes conditions. Cette faible proportion d'acide carbonique doit être la conséquence du peu d'activité relative de la respiration de ces organes : s'il se produit peu d'acide carbonique il n'est pas étonnant de trouver de faibles quantités relatives de ce gaz. Quant à la proportion d'oxygène que nous avons trouvée dans les feuilles étiolées, nous avons été très étonné de ne pas la voir plus voisine de celle de l'air atmosphérique, car, dans une feuille desséchée, on ne peut pas admettre qu'il y ait beaucoup d'oxygène absorbé par les éléments. Par suite de la diffusion, la composition des gaz internes devrait tendre vers celle de l'air ambiant et lui devenir assez rapidement identique. Or nos expériences nous prouvent qu'il n'en est pas ainsi : pour le Peuplier, le Noyer, le Laurier, le Prunier, le Poirier, nous n'avons eu que 4 à 5 p. 100 d'oxygène dans les gaz de feuilles jaunes se détachant de l'arbre au moindre contact, la plupart du temps desséchées. Il y a loin de là à la composition de l'air atmosphérique, ce qui ne peut s'expliquer qu'en admettant que les feuilles étiolées jouissent encore d'un certain pouvoir absorbant pour l'oxygène, et ce serait alors analogue à ce que nous verrons pour les feuilles colorées ou bien cela pourrait tenir encore à un affaiblissement dans les phénomènes endosmotiques ainsi qu'on va l'expliquer dans ce qui suit.

Les feuilles mortes nous ont donné des quantités d'oxygène plus considérables que les feuilles étiolées, mais cette proportion est encore assez éloignée de celle de l'air atmosphérique.

Il y a lieu de se demander maintenant pourquoi dans une feuille morte, ou du moins qui en a toutes les apparences, la

composition des gaz est si différente de celle de l'air atmosphérique? Cela pourrait tenir d'abord à certaines actions chimiques résultant d'un commencement de désorganisation de l'organe; ces actions chimiques pourraient absorber de l'oxygène, sans pour cela produire autant d'acide carbonique que la respiration normale. Mais il me semble qu'on doit l'attribuer aussi à des modifications dans les phénomènes endosmotiques; par suite du dessèchement des tissus il doit y avoir ralentissement du passage des gaz à travers les membranes cellulaires. Cette idée, qui m'a été inspirée par des expériences que je vais bientôt décrire, nous expliquerait facilement les faits révélés par l'expérimentation. Il est vrai que les mouvements gazeux dans les plantes même à l'état normal sont difficiles et lents, de là il faut bien admettre qu'il faut un certain temps pour que l'atmosphère interne soit profondément modifiée par cette pénétration de l'extérieur vers l'intérieur. Toutefois, nous avons vu dans le chapitre des variations journalières qu'à des intervalles de temps de quelques heures il se produit parfois dans l'atmosphère interne des feuilles en pleine activité des variations considérables: des feuilles de noyer m'ont donné, à 10 heures du matin, 14 p. 100 du même gaz. S'il en était ainsi des feuilles mortes leur atmosphère interne serait rapidement semblable ou voisine de celle de l'air atmosphérique, ce qui n'est pas.

L'hypothèse que nous venons de faire sur l'arrêt probable des phénomènes endosmotiques sous l'influence de la dessiccation des feuilles nous a été inspirée par les expériences suivantes qui ont été réalisées bien avant nos travaux sur les *Variations des gaz des feuilles*.

Nous avons pris un tube de verre de 1 centimètre de diamètre et long de 95 centimètres, ouvert aux deux bouts. Nous avons fermé l'une des extrémités avec une membrane de vessie desséchée que nous avons fixée en serrant fortement d'abord avec une ficelle, puis avec des bandes de caoutchouc. Ce mode de fermeture était, paraît-il, autrefois employé par les physiciens pour la construction du baro-

mètre. Ce tube a été ensuite rempli de mercure en prenant toutes les précautions possibles pour éviter les bulles d'air adhérentes aux parois. Nous l'avons ensuite renversé sur une cuve contenant du mercure, à la façon d'un tube de Torricelli. La membrane de vessie a pris une forme concave sous l'influence de la pression atmosphérique ; la hauteur de la colonne mercurielle dans le tube mesurait la pression barométrique du moment aussi exactement que le comportait notre mode de remplissage. Le tube fut ainsi laissé pendant plus d'un mois sans qu'aucune trace d'air pénétrât à travers la membrane dans la chambre barométrique, la colonne de mercure suivait les fluctuations barométriques.

Après ce laps de temps, nous avons placé dans la concavité formée par la membrane quelques gouttes d'eau ; presque aussitôt nous avons aperçu qu'il se produisait une dépression anormale dans la colonne barométrique en même temps qu'une petite quantité d'eau s'était infiltrée à travers la membrane et avait pénétré dans le vide du baromètre, la dépression s'accroissait lentement et d'une façon continue, pendant tout le temps que la membrane était mouillée ; aussitôt qu'on la laissait se dessécher la hauteur mercurielle restait stationnaire, en dehors bien entendu des variations dans la pression atmosphérique auxquelles obéissait toujours notre tube de Torricelli.

A chaque nouvelle quantité d'eau que nous placions sur la membrane correspondait une nouvelle dépression et une certaine quantité de liquide pénétrait chaque fois dans la chambre barométrique, de sorte que le volume de l'eau au-dessus du mercure augmentait toujours.

La première dépression qu'on observait était certainement due à la force élastique de la vapeur d'eau qui s'exerçait au-dessus du mercure, mais nous nous sommes assuré qu'elle n'agissait pas seule et qu'une certaine quantité d'air, très faible du reste, avait pénétré aussi, en même temps que l'eau, à travers la membrane.

Nous pouvons conclure, de cette première observation,

qu'une membrane de vessie desséchée ne laisse pas passer les gaz de l'air; au contraire, elle se laisse très facilement pénétrer et traverser par l'eau; mouillée elle laisse aussi passer les gaz de l'air. Ces gaz qui pénètrent ainsi dans la chambre barométrique à la faveur de l'eau doivent être en grande partie dissous dans le liquide, ainsi que le prouve le fait suivant :

Lorsque autour de la vessie mouillée nous avons fait circuler un gaz très soluble tel que l'acide sulfureux, l'hydrogène sulfuré, etc., la dépression s'est produite plus rapidement et plus forte; la quantité de gaz qui a pénétré pendant le même temps était beaucoup plus considérable. Nous avons eu soin, en outre, de nous assurer que ces gaz dont nous venons de parler n'avaient pas détruit les propriétés endosmotiques de la membrane, en un mot qu'elle n'avait pas été altérée. En effet, lorsqu'après avoir été nettoyé et desséché on remplissait de nouveau le tube de mercure, la même membrane gardait parfaitement le vide.

Pour donner une idée plus exacte des quantités d'air et d'eau qui peuvent passer à travers une membrane nous avons réalisé depuis peu l'expérience suivante que nous avons faite avec le plus de soin possible. Nous avons installé un tube de Torricelli fermé par une membrane de vessie comme nous l'avons décrit dans ce qui précède. Nous l'avons laissé fonctionner pendant deux jours comme baromètre, la colonne mercurielle correspondait assez exactement aux pressions barométriques. Aucune trace d'air n'a pénétré dans la chambre du vide pendant tout ce temps. Nous avons ensuite placé sur la partie concave de la membrane l'une des extrémités d'une mèche de coton, dont l'autre plongeait dans un vase rempli d'eau; par suite de la capillarité, la mèche était constamment mouillée ainsi que la vessie. Un quart d'heure après il y avait au-dessus du mercure, dans la chambre barométrique, une couche d'eau de 1 millimètre d'épaisseur. La dépression qui s'était produite était égale à 1 centimètre à peu près.

Nous avons laissé marcher l'expérience ainsi disposée pendant quatre jours; après ce temps nous avons constaté les faits suivants :

1° La hauteur de la colonne mercurielle dans le tube de Torricelli était égale à 0^m,65;

2° Pression barométrique du moment 0^m,755;

3° Hauteur de la colonne d'eau au-dessus du mercure 11^c,5;

4° Le tube a été ensuite porté sur la cuve à eau, le mercure est tombé au fond et j'ai remarqué que l'eau a aussitôt rempli presque complètement le tube; une bulle de gaz de la longueur de 12 millimètres en occupe la partie supérieure.

De tout cela on doit conclure que l'eau qui mouille la membrane ne passe pas seule dans la chambre barométrique, il y a aussi du gaz qui provient de l'atmosphère ambiante. La quantité d'eau qui a traversé la membrane est à peu près dix fois plus considérable que celle de l'air; donc tous les gaz qui passent à la faveur de l'eau ne sont qu'en partie à l'état de dissolution. Il y aurait encore beaucoup à faire sur cette question, mais je compte la reprendre bientôt.

Je dois ajouter que l'humidité de l'atmosphère a été insuffisante pour produire la rentrée de l'air dans la chambre barométrique : ce qui prouverait que le degré d'humidité, pour que la membrane se laisse traverser par les gaz de l'air, doit être assez considérable.

Lorsque dans un tube de Torricelli disposé comme il vient d'être dit il a pénétré une certaine quantité d'eau et qu'on laisse la membrane se dessécher, on voit la quantité d'eau de l'intérieur du tube diminuer constamment jusqu'à disparition complète; quant aux gaz qui avaient pénétré en même temps que cette eau dans la chambre barométrique, ils y restent, mais il n'en pénètre plus, la colonne mercurielle reste constante en dehors des variations barométriques.

Si la vapeur d'eau a une aussi grande importance pour le passage des gaz à travers une membrane animale, il pouvait bien y avoir quelque chose d'analogue pour les tissus des végétaux; j'ai cherché longtemps un mode d'expérimentation

qui me permit d'étudier directement ce phénomène sur les feuilles. Voici l'appareil que j'ai imaginé; il m'a déjà donné des résultats satisfaisants et conformes à mes prévisions, quoique je ne sois qu'au début de cette étude.

Appareil.

Il se compose de deux endosmomètres ordinaires de mêmes dimensions destinés à être accolés par leur base rodée, ils peuvent être fortement maintenus fixés l'un contre l'autre au moyen de deux colliers passant dans le col de chacun des deux endosmomètres et reliés entre eux par trois tringles de fer portant à leur extrémité un pas de vis avec écrou, destinés à serrer l'un contre l'autre les deux endosmomètres. Grâce à ce système une feuille peut être fixée entre les deux vases et leur servir de fond commun. En somme l'ensemble peut être représenté par deux bouteilles soudées par leur base. Pour que la fermeture soit bien hermétique et pour éviter de blesser la feuille, je place sur la circonférence rodée de chaque endosmomètre une rondelle mince de caoutchouc, c'est entre ces deux rondelles que la feuille sera fortement serrée.

Voici maintenant les expériences que j'ai réalisées avec cet appareil :

Le 21 novembre une feuille de Lierre ne présentant aucune perforation, bien intacte, aussitôt cueillie, a été placée dans l'appareil comme il vient d'être dit, puis j'ai rempli un des deux endosmomètres d'acide carbonique sec; j'ai laissé l'autre plein d'air à l'état hygrométrique du moment. Les deux vases ont été bouchés avec des bouchons de liège graissés avec du suif; j'ai voulu éviter le caoutchouc qui dissout l'acide carbonique. J'ai placé ensuite l'appareil horizontalement et j'ai laissé ainsi les gaz en présence séparés seulement par une feuille verticale pendant vingt et une heures. Après ce temps l'analyse des gaz m'a donné :

Du côté de l'acide carbonique 15 p. 100 d'air; du côté de

l'air 11,4 p. 100 d'acide carbonique avaient passé à travers la feuille par endosmose.

Après cette première expérience j'ai fait dessécher la feuille tout en la laissant en place, en mettant l'appareil sur un poêle, à une douce chaleur pendant une partie de la journée. Après trois jours la feuille avait évidemment perdu beaucoup d'eau, était desséchée en partie; j'ai recommencé alors la même expérience dans des conditions identiques, l'état de la feuille seul avait changé. Après vingt et une heures l'analyse m'a donné :

Côté de l'acide carbonique. 6,0 p. 100 d'air.

Côté de l'air..... 6,7 — d'acide carbonique.

J'ai laissé ensuite l'appareil dans une pièce à la température normale; sept jours après la troisième expérience, identique aux deux précédentes, j'ai obtenu des résultats semblables à ceux de la deuxième expérience : 6 p. 100 des gaz avaient traversé la feuille de part et d'autre. Je dois ajouter que le jour où j'ai fait cette dernière expérience l'air était très humide; voilà pourquoi probablement je n'ai pas trouvé la diminution que j'attendais dans le pouvoir endosmotique de la feuille. Il n'en est pas moins acquis que la feuille en se desséchant se laisse traverser plus difficilement par les gaz, ainsi que je l'avais prévu d'après mes expériences sur la membrane de vessie.

Il nous sera facile maintenant d'expliquer la composition si différente des gaz de l'atmosphère interne des feuilles mortes, desséchées, par rapport à l'air atmosphérique. En effet, étant admis ce fait que les membranes de cellulose desséchée ne se laissent pénétrer que difficilement par les gaz, les parties profondes de l'atmosphère interne des feuilles qui ne communiquent avec l'air extérieur qu'indirectement conservent longtemps à peu près la même composition. Pour les espaces intercellulaires de la périphérie de l'organe en relation plus directe avec l'air soit par les stomates, soit par la cuticule, il n'en sera pas de même; leur composition sera plus

ou moins rapidement modifiée, la proportion d'oxygène augmentera, et lorsque nous ferons l'extraction des gaz, le mélange des parties profondes et superficielles donnera une composition résultante plus riche en oxygène que celle des feuilles adultes en activité, mais moins riche que l'air atmosphérique, or c'est ce que l'expérimentation m'a révélé.

Tableau des proportions d'oxygène et des quantités d'acide carbonique contenues dans les feuilles adultes et dans les feuilles étiolées.

Noms des plantes.	Feuilles adultes, vertes.		Feuilles étiolées, jaunies.	
	Oxygène p. 100 par rapport à l'azote.	Acide carbonique.	Oxygène p. 100 par rapport à l'azote.	Acide carbonique.
Peuplier.....	5,0	24 ⁰⁰ ,5	5,4	13 ⁰⁰ ,0
Laurier.....	13,1	4 ,2	14,5	1 ,2
Noyer.....	2,4	17 ,6	3,5	9 ,0
	3,5	4 ,76	4,8	2 ,5
Poirier.....	2,6	8 ,4	6,0	2 ,4
Prunier.....	3,4	5 ,4	4,6	3 ,7

Ces expériences comparatives ont été faites avec des feuilles prises sur la même plante, le même jour et au plus à une heure d'intervalle. Il est bon d'insister sur ce fait que la proportion d'oxygène est peu différente dans les deux cas, tandis que pour l'acide carbonique la différence est considérable, ce qui nous prouve que le pouvoir absorbant du protoplasma pour l'oxygène doit être diminué ainsi que les phénomènes endosmotiques dans les feuilles étiolées.

Variations par rapport à l'âge de la plante.

En général, lorsque la plante est très jeune, la proportion d'oxygène libre qu'elle contient est plus forte qu'à un âge plus avancé ; cette proportion d'oxygène diminue jusqu'à un état qu'on peut appeler l'état *adulte de la plante* ; à partir de ce moment, elle reste relativement constante, toutes choses égales d'ailleurs, jusqu'au moment où la végétation se ralentit ; puis la proportion d'oxygène augmente jusqu'à la

chute naturelle de la feuille, ou jusqu'à la mort de la plante (lorsqu'il s'agit d'une plante annuelle). Ainsi par exemple de jeunes plantes de cresson alénois, semées depuis vingt jours, nous ont donné 12,1 p. 100 d'oxygène, les mêmes plantes au vingt-quatrième jour ont donné 8,3 p. 100 d'oxygène, au trentième 3,2, au trente-cinquième jour 3,8. Nous voyons par ces exemples qu'il y a diminution d'oxygène jusqu'au trentième jour; à partir de ce moment la proportion de ce gaz est restée assez constante jusqu'à la période de décroissance de l'énergie végétative. Des feuilles de haricots très jeunes nous ont donné 5,5 p. 100 d'oxygène; une demi-heure après des feuilles de ces mêmes plantes, prises à un semis voisin en pleine floraison, semées plus tôt que les premières, ont fourni 3,5 p. 100 du même gaz. Nous avons remarqué pour le lilas des variations analogues: ainsi, des bourgeons présentant des feuilles de 5 millimètres de long environ nous ont donné le 2 avril 5,3 p. 100 d'oxygène. Le 16 du même mois de jeunes tiges présentant des feuilles moitié grandeur naturelle ont fourni 1,8 p. 100 d'oxygène. Le 30 avril, avec des feuilles complètement développées, nous n'avons eu que 1 p. 100 du même gaz. Cette proportion s'est à peu près maintenue constante toutes choses égales d'ailleurs jusqu'à la fin du mois d'août. A partir de ce moment elle a augmenté et au mois d'octobre nous avons trouvé les proportions relativement énormes de 11,4 et 14,2 p. 100; le platane, qui nous a donné à l'état adulte de la feuille de 1. à 3 p. 100, nous a fourni le 15 octobre, au moment de la décrépitude du même organe, 7,4.

Il ne sera pas difficile maintenant de se convaincre que la proportion d'oxygène dans les feuilles dépend surtout de la vitalité générale de la plante. Pour les feuilles caduques, l'absorption de l'oxygène par les éléments doit être faible vers la fin de la saison; aussi voit-on ces gaz augmenter dans ces organes au fur et à mesure que l'absorption diminue; ce n'est ni une question d'époque ni de saison, c'est une question d'énergie dans les phénomènes d'oxydation des éléments

de la plante. Aussi, malgré les différences considérables dans les proportions d'oxygène trouvées chez les plantes à feuilles caduques à différentes époques de l'année, nous n'en concluons pas moins que là, pas plus que pour les plantes à feuilles persistantes, l'époque de l'année n'a aucune influence sur le contenu gazeux.

Expériences comparatives sur des plantes développées en pleine lumière et à l'ombre pendant plus ou moins de temps.

Vu la grande importance de l'influence de la lumière sur la végétation, cette étude s'imposait naturellement. Les résultats que j'ai obtenus ont été des plus concluants et conformes à mes prévisions, on va en juger par les faits suivants :

Des feuilles de Fusain cueillies à un pied placé derrière un mur qui le protège contre les rayons du soleil pendant une partie de la journée, et qui, le reste du temps, est à l'ombre d'autres arbres à feuillage très épais, nous ont donné 17,2 p. 100 d'oxygène, tandis que des feuilles prises à un autre pied de fusain à peu près de même âge venu en pleine lumière ne nous ont donné le même jour immédiatement après cette première expérience que 7 p. 100 du même gaz.

Des feuilles jeunes de Lilas, cueillies à l'ombre au fond d'un berceau de verdure très épais, sur de jeunes pousses développées toujours à l'ombre, ont donné 6,2 p. 100 d'oxygène. Des feuilles adultes de lilas prises immédiatement après sur le même berceau, mais en dehors, en pleine lumière, ne nous ont fourni que 3 p. 100; pourtant nous avons déjà vu que les feuilles jeunes renferment toujours moins d'oxygène dans les mêmes conditions que les feuilles adultes. Si nous trouvons ici le contraire, nous ne pouvons l'attribuer qu'à l'influence de la lumière diffuse qui seule agit dans le premier cas, tandis que dans le second, à la lumière diffuse s'ajoutent pendant une partie de la journée les rayons solaires directs. Des résultats tout à fait analogues ont été obtenus avec des feuilles de *Sedum Telephium*, de Pervenche, de Sureau, etc.

Pour bien nous convaincre que ces résultats sont dus surtout à l'influence de la lumière, nous avons réalisé des expériences que nous allons décrire en détail :

Un vigoureux pied d'Hortensia placé dans un pot est laissé plusieurs jours dans le jardin en pleine lumière.

Il est arrosé avec soin, il est superbe de fraîcheur. Le 10 septembre à 4 heures du soir, la température étant de 14°, nous avons cueilli à ce pied d'Hortensia 50 grammes de feuilles adultes pour en extraire les gaz. L'analyse nous a donné 10,8 p. 100 d'oxygène. Nous avons placé ensuite cette plante dans une cave éclairée seulement par un soupirail; nous l'avons laissée ainsi à l'obscurité pendant 48 heures. Après ce laps de temps la plante ne paraissait pas avoir souffert, les feuilles étaient encore parfaitement vertes; nous en avons coupé 50 grammes et nous avons extrait les gaz à la même heure que dans l'expérience qui précède; la température de la cave, lorsque nous avons cueilli les feuilles, était de 13,5. Cette fois-ci l'analyse des gaz nous a fourni 17,7 p. 100 d'oxygène. Si nous rapprochons les deux températures correspondant aux deux expériences, nous voyons qu'elles ne diffèrent que de un demi-degré, tandis que la différence dans la proportion d'oxygène est de 7 p. 100. Du reste nous verrons plus tard que la température n'a pas d'influence appréciable sur la proportion d'oxygène contenu dans les plantes.

Le pied d'Hortensia est encore laissé dans la cave pendant 42 heures; après ce séjour on cueille 50 grammes de feuilles; l'extraction des gaz nous donne 13,33 p. 100 d'oxygène. Les feuilles étaient un peu jaunies, on voit que la chlorophylle tend à disparaître sous l'influence du manque de lumière. La quantité d'oxygène que nous trouvons dans cette dernière expérience est encore plus considérable que lorsque nous avons pris les feuilles en pleine lumière, mais nous devons avouer que nous avons été surpris de ne pas trouver une proportion de ce gaz plus considérable. Y aurait-il là une phénomène d'accoutumance? La plante se serait-

elle habituée à ce milieu et son activité protoplasmique éprouverait-elle un accroissement relatif? Ou plutôt cette quantité relativement faible d'oxygène serait-elle la conséquence d'une augmentation dans la vitalité de la plante sous l'influence de la lumière qui pénétrait assez largement dans la cave lorsque nous avons cueilli les feuilles? Il était alors 10 heures du matin et le soleil donnait en plein contre le soupirail depuis deux heures. Quoi qu'il en soit, le fait de l'augmentation d'oxygène dans les plantes sous l'influence d'une diminution dans l'éclairement n'en existe pas moins, et cette expérience ne fait que confirmer les autres.

Pour n'avoir plus de doutes au sujet de cette influence de la lumière, nous nous sommes attaché autant que possible dans les expériences qui suivent à ne modifier que l'éclairement, laissant les autres conditions identiques:

Nous avons recouvert d'un papier goudronné un mètre carré d'un semis de cresson alénois pratiqué en plein jardin; le papier était maintenu à une hauteur du sol de 8 à 10 centimètres au moyen d'un châssis. Nous avons laissé ainsi ces plantes à l'ombre de ce papier pendant 9 jours. L'air pouvait facilement circuler autour des plantes; la lumière diffuse y pénétrait aussi, aisément. Après ces neuf jours, nous avons coupé au niveau du sol 50 grammes de plantes placées à l'ombre du papier; l'extraction et l'analyse des gaz nous ont donné 14,6 p. 100 d'oxygène et 1 centimètre cube d'acide carbonique. Une demi-heure après nous avons pris dans le même semis 50 grammes de cresson alénois laissé en pleine lumière dans les conditions normales. Les gaz de ces plantes ont fourni 12,1 p. 100 d'oxygène et 2 centimètres cubes d'acide carbonique. Ces données comparatives sont concluantes.

Le 11 septembre, nous avons placé dans quatre pots avec le substratum une certaine quantité de cresson alénois semé dans le jardin depuis un mois. Les plus grandes précautions ont été prises pour ne pas briser les racines et endommager les plantes. Ces quatre pots ont été laissés encore quelques

jours en plein jardin à côté du semis, on les arrosait souvent ainsi que les plantes laissées en terre afin d'être de part et d'autre dans des conditions identiques.

Ensuite les quatre pots ont été placés dans la cave pendant trois jours. Après ce laps de temps nous avons extrait les gaz de 50 grammes de ces plantes et nous avons trouvé 8,4 p. 100 d'oxygène, et 3^{cc},2 d'acide carbonique; tandis qu'à une heure d'intervalle, 50 grammes de plantes du semis qui avaient été laissées en pleine lumière ne nous ont fourni que 3,2 p. 100 d'oxygène et par contre ont donné 7 centimètres cubes d'acide carbonique.

Enfin, dans une dernière expérience, nous avons pris comparativement 50 grammes de cresson alénois développé en pleine lumière et nous avons obtenu 3,8 p. 100 d'oxygène et 4^{cc},85 d'acide carbonique, alors que 50 grammes de ces mêmes plantes recouvertes d'un pot depuis trois jours et placées à côté des premières nous ont fourni 9,33 p. 100 de gaz comburant et 2 centimètres seulement d'acide carbonique. Cette dernière expérience est encore plus concluante que les précédentes, car dans ce cas les plantes n'ont pas été déplacées; s'il y a eu souffrance, ce n'est qu'au manque de lumière qu'il faut l'attribuer.

D'après tout ce qui précède, nous voyons que toujours la proportion d'oxygène dans les plantes augmente lorsqu'on les prive pendant un certain temps de l'influence de la lumière ou qu'on en atténue trop l'intensité.

Pour nous, l'influence de cet agent est d'augmenter l'activité vitale générale de la plante et de favoriser l'absorption d'oxygène; les actions chimiques vitales seraient facilitées. Du reste ces idées ont déjà été émises par M. Borodine.

Faut-il conclure de là que nous devons toujours trouver plus d'oxygène dans une plante pendant un temps sombre que pendant qu'elle est éclairée par le soleil? Nous ne le pensons pas, car deux expériences comparatives faites sur le lilas à la même heure et à deux jours d'intervalle

nous ont fourni la même proportion d'oxygène rigoureusement : l'une par un temps sombre, il pleuvait même, et l'autre par un soleil splendide. Ceci, du reste, n'influe en rien ce que nous venons de voir dans ce chapitre. Car même par un temps de pluie la lumière peut être encore suffisante pour que la vitalité de la plante ne soit pas diminuée. Il doit exister probablement pour chaque plante un minimum de lumière au-dessous duquel les fonctions vitales subiraient un décroissement assez rapide.

Nous allons maintenant donner sous forme de tableau les résultats fournis par les expériences que nous venons de décrire et un certain nombre d'autres que nous avons passées sous silence.

Tableau comparatif des proportions d'oxygène contenues : 1° dans les plantes développées en pleine lumière; 2° dans celles qui se trouvent naturellement placées à l'ombre ou qu'on prive plus ou moins de lumière pendant un certain temps.

Noms des plantes.	Proportions d'oxygène p. 100 par rapport au volume total d'azote et d'oxygène.	
	Lumière normale.	Lumière atténuée.
Fusain.....	7,6	17,2
Lilas.....	3,0	6,2
Sedum Telephium.....	14,7	17,3
Lierre.....	8,5	10,9
Cresson alénois.....	8,3	12,1
Pervenche.....	9,0	13,4
Sureau.....	7,2	11,4
Hortensia.....	10,8	} 17,7 13,33
Cresson alénois.....	3,2	
Id.	3,8	9,33
Laitue, romaine.....	4,5	9,8

Comparaison du contenu gazeux chez différentes plantes.

Dans ce chapitre, comme nous l'avons fait généralement dans ceux qui précèdent, nous nous occuperons surtout de l'oxygène, ce gaz étant pour notre travail celui qui offre le plus d'intérêt. L'acide carbonique a bien aussi son importance,

mais son extraction offre certaines difficultés, elle doit être faite dans des conditions rigoureusement identiques pour que les résultats soient comparables. Or, comme dans cette partie de notre travail nous résumons un grand nombre d'expériences faites à des époques très différentes et dans des conditions diverses, selon que l'exigeaient nos recherches, les quantités de ce gaz ne peuvent être comparables.

Nous donnons plus loin le résumé de soixante-seize expériences faites sur des feuilles de vingt plantes de différentes espèces; en le parcourant rapidement nous remarquons que la quantité d'oxygène que nous trouvons dans les feuilles d'une plante dépend du genre de plantes auxquelles nous nous sommes adressé. Nous classons ces plantes dans ce tableau d'après les quantités moyennes d'oxygène qui nous ont été fournies par nos expériences, lesquelles portent toutes sur des feuilles adultes. Ces quantités moyennes sont assez constantes dans chaque espèce de plante placée dans des conditions normales et surtout identiques au point de vue de l'éclairement. Le Lilas, par exemple, a toujours fourni de très petites quantités d'oxygène et par contre des quantités considérables d'acide carbonique. Doit-on attribuer cela à une structure particulière de l'organe ou à une énergie d'absorption pour l'oxygène plus considérable?

Nous ne pouvons nous prononcer quant à présent; toujours est-il qu'en général nous ne trouvons qu'un dixième de centimètre cube de ce gaz dans l'atmosphère interne de 50 grammes de ces feuilles. Pour l'acide carbonique, nous en avons eu jusqu'à 60 et 80 centimètres cubes, ce qui fait un volume 600 ou 800 fois plus considérable que celui de l'oxygène. Ce gaz acide carbonique doit être, comme on l'a dit, déjà à l'état de combinaison, car il ne se dégage en grande partie qu'à une température comprise entre 40 et 80°. Après le Lilas viennent dans notre tableau : le Bouleau, la Vigne vierge, le Chêne, le Noyer, le Marronnier, le Prunier, le Poirier, l'Abricotier, etc... Toutes ces plantes sont à feuilles caduques; elles renferment généralement d'assez grandes

quantités d'acide carbonique, surtout le Noyer. La Glycine nous a étonné par la faible quantité de gaz que nous avons pu extraire. Le Dahlia et le Sureau nous ont donné des proportions d'oxygène plus considérables que nous ne le pensions; cela doit tenir à ce que les plantes sur lesquelles nous avons cueilli les feuilles s'étaient développées en grande partie à l'ombre d'autres plantes. Le Lierre, le Fusain et le Sédum occupent l'extrémité la plus élevée de l'échelle figurative des quantités d'oxygène; la proportion moyenne de ce gaz est chez ces plantes relativement énorme. En résumé, nous voyons que les plantes à feuilles persistantes, telles que le Laurier, le Lierre et le Fusain, renferment toujours plus d'oxygène libre que les plantes à feuilles caduques. Par contre, la quantité d'acide carbonique est dans ces dernières bien plus considérable. Nous sommes ainsi amenés tout naturellement à conclure que l'activité protoplasmique est, chez les plantes à feuillage toujours vert et persistant, assez uniforme ou du moins ne présente pas les variations considérables que nous offrent les autres plantes. Ainsi, par exemple, des branches de Lilas dont les bourgeons des extrémités seuls commencent à grossir ont donné, le 15 février, 15,5 pour 100 d'oxygène; tandis qu'une fois la végétation bien développée, nous ne trouvons que 1 ou 2 pour 100: voilà une différence énorme que nous n'avons jamais rencontrée chez les arbres toujours verts. Chez les arbres à végétation intermittente il semble que la nature met tout en jeu pour réparer le temps perdu pendant le long sommeil hivernal: de là cette absorption énergique pour l'oxygène.

A la catégorie des plantes à feuillage caduc, nous devons ajouter toutes les plantes à végétation rapide, ainsi que nous l'avons constaté sur les Haricots, les Laitues, le Cerfeuil, le cresson alénois, etc...: ces plantes renferment peu d'oxygène pendant tout le temps de la végétation.

Tableau représentant le résumé des analyses des gaz contenus dans les feuilles adultes d'un certain nombre de plantes, avec indication de la proportion moyenne d'oxygène résultant de plusieurs expériences réalisées sur la même plante.

VOLUMES DES GAZ EN CENTIMÈTRES CUBES CONTENUS DANS 50 GRAMMES DE FEUILLES.

Noms des plantes.	Azote.	Acide carbonique.	Oxygène.	Quantité moy. d'oxygène p. 100 du volume total d'azote et d'oxygène.
Lilas	6,8 5,4 9,9 10,0 10,7	10,4 8,4 47,0 52,6 64,8	0,2 0,1 0,1 0,1 0,1	1,54
Bouleau	6,5	6,0	0,1	1,5
Vigne-vierge	9,0	10,8	0,2	2,0
Chêne.....	10,7	24,3	0,3	2,7
Noyer	8,0 10,5 9,5	17,6 10,15 18,2	0,2 0,35 0,3	2,91
Marronnier	12,2	8,0	0,4	3,2
Prunier.....	8,5	5,4	0,3	3,4
Poirier	7,3 8,6 9,5 7,3	5,3 3,5 7,6 8,4	0,2 0,4 0,4 0,2	3,41
Abricotier.....	6,6 6,0 5,1	6,25 4,7 4,7	0,25 0,3 0,2	4,0
Peuplier.....	5,7	24,5	0,3	5,0
Sycomore.....	8,3	15,0	0,5	5,7
Châtaignier.....	6,35	23,0	0,45	6,6
Glycine.....	3,2	3,7	0,3	8,5
Dahlia.....	8,9 5,03 8,25 8,85 8,25 12,5 12,2 10,5 9,2 9,65	4,8 7,0 2,3 3,2 2,6 3,2 2,7 3,7 3,25 1,9	0,6 0,22 0,8 0,75 0,95 1,3 1,6 1,0 0,95 1,25	9,1

Noms des plantes.	Acide carbonique.	Oxygène.	Quantité moy. d'oxygène p. 100 du volume total d'azote et d'oxygène.
Sureau.....	10,8	8,4	1,0
	9,0	7,3	0,7
	7,9	0,6	6,9
	8,2	13,0	0,8
	8,65	11,1	1,25
	8,5	15,0	1,1
Pervenche (Vinca minor).....	8,3	9,4	1,3
	12,3	13,2	2,0
	11,2	2,9	1,2
Laurier.....	15,0	4,8	1,6
	11,5	8,8	1,4
	11,0	1,1	1,8
	12,8	3,2	1,9
Lierre (Hedera Helix).	9,8	3,7	1,1
	11,8	2,1	1,2
	13,6	4,2	2,4
	10,4	2,4	1,7
	10,5	0,5	2,0
	10,2	0,9	2,0
	10,4	0,9	2,2
	11,05	1,7	1,85
	10,00	1,1	1,6
	11,35	0,7	2,25
Mousse.....	5,2	3,5	0,9
	9,8	0,25	2,0
	10,3	0,5	2,0
	10,8	1,5	2,0
	6,0	4,6	0,9
	10,3	2,7	1,5
	8,5	3,6	1,6
	12,6	5,8	2,2
Fusain.....	13,0	1,8	2,4
	12,7	3,8	1,8
	12,5	7,7	1,7
	11,6	4,3	1,3
	11,6	2,2	2,2
	12,8	1,8	2,4
	14,0	21,6	2,0
	15,2	2,4	2,1
	15,5	8,2	2,3
Sedum Telephium...	11,2	2,4	2,4
	9,5	0,1	2,0
	9,85	1,95	1,7

**Influence de la coloration d'une feuille
sur son contenu gazeux.**

Les feuilles colorées ont-elles un contenu gazeux différent de feuilles vertes ? Voilà la question que nous nous sommes posée et à laquelle nous répondrons par la série des faits suivants :

Les gaz extraits de 50 grammes de feuilles vertes de Chou prises à la périphérie nous ont donné une proportion d'oxygène égale à 5 p. 100; une heure après, nous avons pris sur la même plante 50 grammes de feuilles bien blanches formant le cœur du Chou, feuilles centrales plus jeunes ; aussi n'avons-nous obtenu que 2,4 du même gaz. Ces résultats sont tout à fait conformes à ce que nous avons appris dans un des chapitres précédents en comparant les feuilles jeunes aux adultes.

Le 12 septembre, 50 grammes de feuilles vertes de Betterave ont donné 10 p. 100 d'oxygène. Une heure après, nous avons trouvé dans les gaz extraits de 50 grammes de feuilles de Betterave d'un beau rouge, cueillies dans le même champ sur des plantes voisines de celles qui nous avaient fourni les feuilles vertes, 10,4 p. 100 du même gaz, résultat assez identique au précédent.

Des feuilles jeunes de Chêne bien vertes comparées à d'autres feuilles jeunes de la même plante, mais offrant une coloration rouge très prononcée, ne nous ont donné que des différences insignifiantes dans la proportion d'oxygène. Des feuilles de Vigne vierge, d'un beau rouge, cueillies le 20 septembre, se détachant au moindre contact, et présentant tous les caractères des feuilles étiolées, renfermaient 10 p. 100 d'oxygène. Des feuilles vertes et jeunes cueillies une heure après, à l'extrémité des branches de la même plante, ne nous ont donné que 2,5 p. 100.

L'*Acer Negundo* présente, comme on sait, des feuilles panachées de blanc et de vert. Nous avons découpé avec des ci-

seaux 50 grammes de parties blanches dont les gaz renfermaient 4,25 p. 100 d'oxygène, tandis que nous n'avons trouvé que 2,4 p. 100 du même gaz dans 50 grammes de parties vertes. Si la proportion d'oxygène est plus forte dans les parties blanches, cela doit tenir à un ralentissement dans l'activité vitale de ces parties, qui offrent des caractères d'étiollement.

Enfin dans une dernière expérience nous avons placé la partie centrale d'un pied de Laitue sous un pot de terre pendant dix jours, laissant en pleine lumière les feuilles de la périphérie qui ont, bien entendu, conservé leur teinte verte, tandis que les feuilles centrales placées à l'ombre sont devenues tout à fait blanches. Les gaz fournis par 50 grammes de feuilles vertes de la périphérie contenaient 4,5 p. 100 d'oxygène, et ceux que nous avons extraits des feuilles blanches en renfermaient 9,8. Tout ceci est encore conforme à ce que nous avons vu touchant les plantes venues à l'ombre ou en pleine lumière. Les feuilles centrales, quoique plus jeunes, renferment plus d'oxygène que les feuilles extérieures, par suite de l'étiollement que produit l'insuffisance de lumière.

Donc de tout ceci nous allons conclure que dans les conditions que nous venons de signaler la coloration des feuilles n'a aucune action sur leur contenu gazeux, elles suivent en toutes circonstances les mêmes influences que les feuilles vertes.

CHAPITRE IV

VARIATIONS ARTIFICIELLES PRODUITES DANS LA COMPOSITION DE L'ATMOSPHÈRE INTERNE DES PLANTES

Après avoir étudié les variations naturelles qui se produisent dans le contenu gazeux des plantes sous diverses influences, nous avons essayé de provoquer, par des dispositions expérimentales diverses, des variations que nous pensions devoir être considérables. Nous espérions tirer ensuite parti de ces variations voulues, pour chercher à étudier les modifications qui se seraient produites dans le contenu gazeux pendant un temps donné. Or, comme nous allons le voir, les variations que nous avons pu obtenir jusqu'ici sont très faibles et tout à fait insuffisantes pour servir de base à une nouvelle méthode d'études des phénomènes respiratoires. Toutefois, les difficultés que nous avons éprouvées présentent par elles-mêmes un intérêt suffisant, surtout au point de vue du mouvement gazeux dans les plantes, pour qu'il nous soit permis d'exposer ici les expériences que nous avons réalisées.

Le 13 avril nous avons coupé 35 grammes de feuilles à un pied de fusain placé dans un pot; nous avons extrait les gaz par la méthode ordinaire; nous avons eu :

	12 ^{cc} ,8 de gaz.
Après action de la potasse il est resté.....	8 ,6
Après l'action de l'acide pyrogallique.....	7 ,1
L'oxygène égale donc.....	1 ^{cc} ,5

ce qui fait 17, 2 pour 100 par rapport au volume total d'azote et d'oxygène.

Pendant que nous faisons cette analyse, le pied de fusain avait été placé sous un récipient communiquant avec une trompe à eau que nous avons fait fonctionner pendant une heure pour faire le vide. La pression de l'air dans le récipient où se trouvait la plante n'était, à la fin de l'expérience, que de 3 centimètres de mercure. Nous avons ensuite laissé l'air rentrer, et un quart d'heure après, nous avons pris 35 grammes de feuilles identiques aux précédentes, dont nous avons extrait les gaz avec la pompe à mercure à la température de 50 degrés, comme dans l'expérience précédente; nous avons obtenu les résultats suivants :

	8 ^{cc} ,2 de gaz.
Après action de la potasse.....	7 ,0
Après acide pyrogallique.....	5 ,6
Oxygène.....	1 ^{cc} ,4

ce qui fait 20 pour 100.

En comparant les deux analyses, nous voyons que dans le second cas le volume gazeux est moins considérable que dans le premier. Cela doit tenir à la difficulté qu'éprouvent les gaz pour se mouvoir dans l'intérieur des feuilles : tous les gaz qui ont été enlevés par l'action de la trompe n'ont pu être remplacés par un volume correspondant fourni par l'atmosphère.

Comme nous nous y attendions, la proportion d'oxygène est plus considérable, elle est très voisine de celle de l'air atmosphérique. On a ainsi enlevé aux tissus de la plante une certaine quantité de gaz qui a été remplacé en partie par de l'air.

Cette première expérience nous avait fait espérer qu'il nous serait toujours possible d'amener l'atmosphère interne des feuilles à être très peu différente de l'atmosphère externe, mais nous avons été bientôt convaincu que nous étions dans l'erreur la plus profonde.

Le 16 avril nous avons pris sur le même pied de fusain 20 grammes de jeunes feuilles; l'analyse des gaz qu'elles contenaient nous a donné 14 p. 100 d'oxygène. Nous avons

ensuite placé la plante sous le récipient de la trompe. Le vide a été d'abord poussé jusqu'à 3 centimètres de mercure. nous avons ensuite mis le récipient en communication avec l'air extérieur, et après trois minutes nous avons remis la pompe en activité pour raréfier l'air une deuxième fois. Après trois quarts d'heure, la pression de l'air à l'intérieur du récipient était descendue à 3 centimètres de mercure ; nous avons alors mis la plante en communication avec l'atmosphère, et nous avons pris de suite 20 grammes de feuilles semblables aux précédentes pour en extraire les gaz ; l'analyse ne nous a fourni que 13,9, c'est-à-dire 14 p. 100, comme dans le cas précédent. Ce résultat nous a fort étonné, car nous nous attendions à avoir une proportion d'oxygène voisine de celle de l'air atmosphérique. Nous pensions, en effet, qu'en remplaçant plusieurs fois l'atmosphère interne de la plante par de l'air ordinaire, nous atteindrions ainsi facilement ce but ; car ces sortes de lavages à l'air ne pouvaient amener, d'après le raisonnement et en s'appuyant sur notre première expérience, qu'à une augmentation d'oxygène. Si ce que nous avions prévu n'est pas arrivé, il faut en chercher la cause ailleurs, ainsi qu'on va le voir bientôt. Nous avons remarqué aussi, dans ces deux expériences, que dans le second cas le volume gazeux était plus faible que dans le premier.

Le 18 avril nous avons extrait les gaz de 50 grammes de jeunes pousses de lilas avec leurs feuilles prises sur la plante dans les conditions normales ; elles nous ont fourni 5,5 p. 100 d'oxygène. On a ensuite chauffé à 100 degrés, et nous avons obtenu 61^{cc},2 d'acide carbonique, quantité considérable qui accuse une grande activité protoplasmique. Comparativement à cette expérience, nous en avons fait une autre en plaçant un rameau de Lilas dans l'appareil que nous avons décrit dans le premier chapitre, pour l'étude des variations des échanges gazeux entre la plante et le milieu extérieur sous l'influence de la lumière ; ce rameau de Lilas présentait de jeunes pousses tout à fait semblables aux précédentes, il a été laissé en place sur pied dans le jardin ; nous avons fait le vide dans l'appar-

reil, au moyen de la trompe qui se trouvait dans le laboratoire, grâce à de longs tubes de caoutchouc.

La trompe a fonctionné pendant une heure trois quarts, la pression dans le récipient a été maintenue à 3 centimètres de mercure pendant une demi-heure. Il nous a fallu un peu plus d'une heure pour arriver à ce degré de vide, qui est resté constant jusqu'à la fin de l'expérience. Nous avons fait ensuite communiquer le récipient avec l'air extérieur, et cinq minutes après nous avons pris au rameau 20 grammes de jeunes pousses en tout semblables à celles de l'expérience précédente. L'extraction et l'analyse des gaz nous ont donné 11,5 p. 100 d'oxygène, 3^{cc},3 d'acide carbonique; mais dans cette deuxième expérience je n'ai chauffé qu'à 50°. Si nous avions chauffé jusqu'à 100° comme dans l'expérience précédente, nous aurions eu un peu plus d'acide carbonique, mais beaucoup moins que dans le premier cas, ainsi que je l'ai vu dans la suite. On voit que l'augmentation dans la proportion d'oxygène est de 6 p. 100: mais il y a loin encore de cette composition à celle de l'air atmosphérique.

Le 20 avril, nous avons extrait les gaz de 35 grammes de feuilles prises à un pied de Fusain placé dans un pot; nous avons eu 10,3 p. 100 d'oxygène et 12^{cc},7 d'acide carbonique. Pendant cette extraction, la plante a été placée une heure et demie sous le récipient de la trompe. Comme toujours, le vide a été poussé jusqu'à 3 centimètres de mercure. On a mis ensuite le récipient en communication avec l'atmosphère, et vingt minutes après j'ai pris 35 grammes de feuilles identiques aux précédentes. L'analyse nous a fourni 12 p. 100 d'oxygène et 8^{cc},6 d'acide carbonique. Dans cette expérience nous n'avons pu produire qu'une augmentation de 2 p. 100 d'oxygène; nous observons en outre que l'acide carbonique est en plus faible quantité. Donc la formation de ce gaz à basse pression serait diminuée.

Le 21 avril, nous avons pris à un rameau de Lilas attendant à l'arbuste placé pendant vingt-quatre heures sous le récipient de la trompe à une pression inconnue, mais bien infé-

rieure à une atmosphère, 40 grammes de jeunes pousses semblables à celles de l'expérience du 18. L'extraction et l'analyse des gaz dans les mêmes conditions nous ont fourni 3,2 p. 100 d'oxygène et 42^{cc},2 d'acide carbonique, ce qui ferait pour 50 grammes de feuilles 52^{cc},7, quantité supérieure à celle que nous a fournie normalement, à la même heure, l'expérience du 18, qui en a donné 61^{cc},2.

Là encore, si on en juge par l'acide carbonique, l'activité protoplasmique a été diminuée sous l'influence de la faible pression à laquelle a été soumise la plante.

Quant à la faible quantité d'oxygène qu'on a obtenue, il nous semble qu'on ne peut l'expliquer qu'en admettant que lorsqu'on fait le vide incomplètement, par suite des difficultés que doivent éprouver les gaz pour se mouvoir dans l'intérieur des plantes, on enlève seulement les gaz de la partie périphérique de l'organe en relation directe avec l'atmosphère, tandis que ceux des parties profondes resteraient confinés. Lorsque cette basse pression est maintenue un certain temps, les éléments sont placés dans des conditions d'asphyxie relative, et l'oxygène des parties profondes doit être complètement absorbé; de là, malgré la rentrée de l'air extérieur qui vient remplacer une atmosphère moins riche en oxygène, la proportion de ce gaz dans le volume total n'augmente pas; cette proportion peut même diminuer et devenir plus faible qu'à l'état normal, ainsi que cela s'est produit dans notre expérience.

Ces idées théoriques sont parfaitement justifiées par tout ce qui précède dans ce chapitre. Chaque fois, en effet, que nous avons laissé un certain temps la plante à une basse pression, la proportion d'oxygène, au lieu d'augmenter considérablement par suite de la rentrée de l'air, reste à peu près la même ou diminue et devient inférieure à ce qu'elle est dans les conditions normales. Lorsque, au contraire, nous avons fait le vide le plus rapidement possible et que nous avons laissé rentrer l'air aussitôt ce minimum de pression obtenu, nous avons trouvé dans l'atmosphère des feuilles une proportion

d'oxygène plus considérable, et cela parce que probablement les éléments des parties profondes n'avaient pas eu le temps d'absorber tout l'oxygène ambiant.

Le 23 avril, nous avons pris à un pot de *Tradescantia* 40 grammes de feuilles avec tiges, nous avons extrait les gaz et nous avons obtenu 12,5 p. 100 d'oxygène et 14^{cc},1 d'acide carbonique. Pendant que nous faisons cette analyse, la plante était placée sous le récipient de la trompe où se faisait le vide. Quand la pression a été de 3 centimètres de mercure, on a mis le récipient en communication avec l'atmosphère; deux minutes après, on a recommencé à faire le vide et on a laissé la plante pendant deux heures et demie à une pression de 2 centimètres de mercure. Après ce temps, on a mis de nouveau la plante en communication avec l'atmosphère et on a pris de suite 40 grammes de tiges semblables aux précédentes; nous avons extrait les gaz le plus rapidement possible et nous avons trouvé 12,2 p. 100 d'oxygène et 9^{cc},4 d'acide carbonique. Cette expérience confirme les précédentes : nous avons un peu moins d'oxygène qu'à l'état normal parce que la plante est restée longtemps à une faible pression : l'acide carbonique est aussi en plus faible quantité : donc il y a eu ralentissement dans l'activité vitale. La plante a été laissée ensuite dans le laboratoire à la pression normale; une heure après, nous avons fait une nouvelle prise de 40 grammes de tiges, nous avons extrait les gaz et nous avons obtenu 16,6 p. 100 d'oxygène. Ce résultat étonnant doit être la conséquence d'un affaiblissement de la plante produit par la faible pression à laquelle elle a été soumise. Ce qui tendrait à le prouver, c'est la faible quantité relative d'acide carbonique que nous avons trouvé dans ce dernier cas, 6 centimètres cubes seulement, au lieu de 9 et de 14 centimètres cubes que nous avons obtenus dans les deux expériences précédentes. Il semble que la plante est fatiguée, malade, que son pouvoir absorbant pour l'oxygène est atténué.

Le 12 mai, nous avons fait sur le *Tradescantia* une autre série d'expériences qui confirment les précédentes et y ajou-

tent un élément de plus : nous avions pour but de déterminer les variations du contenu gazeux des plantes, un certain temps après avoir été soumises à de basses pressions. Nous avons extrait les gaz de 50 grammes de tiges de tradescantia avec feuilles (ces plantes étaient dans le laboratoire depuis plusieurs jours). Nous avons trouvé 16,4 p. 100 d'oxygène. Pendant qu'on faisait cette analyse, la plante qui avait fourni les tiges était placée sous le récipient de la trompe où on faisait le vide ; elle a été soumise pendant une heure à une pression de 2 centimètres de mercure. Après ce laps de temps on a fait communiquer le récipient avec l'air extérieur et on a pris de suite 50 grammes de tiges dont on a extrait les gaz ; l'analyse nous a accusé 13,3 p. 100 seulement d'oxygène. On laisse la plante dans le laboratoire à la pression normale, et deux heures après nous avons fait une nouvelle prise de 50 grammes de tiges ; les gaz qu'elles contenaient nous ont fourni 15,4 p. 100 d'oxygène. Enfin, une heure après cette extraction, nous avons fait une nouvelle prise de 50 grammes de tiges de la même plante, qui a donné 15,5 p. 100 du même gaz, quantité égale à la précédente.

Nous concluons de ceci que lorsqu'on extrait les gaz des plantes immédiatement après leur sortie du récipient à basse pression, la quantité d'oxygène peut être plus faible que dans les conditions normales ; elle est surtout plus faible qu'une heure ou deux après. Cela doit tenir, comme nous l'avons déjà dit, à ce qu'une faible partie seulement des gaz est extraite par le vide incomplet auquel nous soumettons les plantes ; puis par suite de la diffusion lente de ceux-ci à l'intérieur des tissus et de l'affaiblissement du pouvoir absorbant qui paraît résulter de l'influence de la basse pression à laquelle ont été soumises les plantes, la proportion d'oxygène augmente. Dans l'expérience qui précède, nous voyons que deux heures après avoir été soumises au vide partiel, la composition des gaz est redevenue normale. Enfin le 18 mai, nous avons fait sur le Lilas des expériences analogues qui ont fourni des résultats tout à fait semblables aux précédents.

Nous tirerons encore de toutes ces tentatives cette autre conclusion que les mouvements gazeux dans les tissus des plantes sont très difficiles et très lents. Depuis longtemps, nous nous étions aperçu dans le cours de nos recherches que l'agitation de l'air augmentait la proportion d'oxygène de l'atmosphère interne des plantes; en effet, toutes les extractions de gaz que nous avons faites lorsqu'il faisait du vent nous ont donné des proportions d'oxygène plus considérables, ainsi qu'on l'a vu en particulier pour le sureau dans les expériences du 25 mai (voir le tableau des variations horaires). Pour savoir si nous étions dans le vrai, nous avons réalisé les expériences suivantes :

Nous avons cueilli une certaine quantité de branches de Lilas avec leurs feuilles, nous en avons fait deux lots. Ces deux lots ont été placés séparément dans deux vases renfermant de l'eau, la partie inférieure des tiges plongeant dans ce liquide. L'un de ces vases avec son contenu a été placé sur une plateforme mobile actionnée par un moteur hydraulique et soumise à un mouvement continu de va-et-vient assez énergique pendant deux heures et demie. Les autres branches ont été laissées au repos et assez loin des premières pour ne pas subir l'influence de l'agitation de l'air ambiant. Après deux heures de séjour dans le laboratoire, nous avons pris 50 grammes de branches restées au repos et nous avons extrait les gaz, qui nous ont fourni 5,7 p. 100 d'oxygène; tandis qu'une demi-heure après, 50 grammes de tiges soumises à l'agitation que nous venons de décrire nous ont fourni 7,9 p. 100 de ce même gaz; l'augmentation est de 2,2 p. 100; nous ne nous étions donc pas trompé en pensant qu'en général l'agitation augmente la proportion d'oxygène dans les plantes. Nous avons considéré cette expérience comme suffisante, elle confirme une loi que nous avons entrevue maintes fois dans le cours de nos recherches. Cette augmentation dans la proportion d'oxygène doit être la conséquence d'une plus grande facilité de mouvement pour les gaz à l'intérieur de la plante.

A ces causes de variations artificielles que nous avons pu

produire dans la composition gazeuse des plantes nous allons ajouter la suivante, qui nous prouve une fois de plus que la *proportion d'oxygène libre dans une plante est d'autant plus forte que l'activité vitale est plus faible.*

Nous avons enlevé toutes les feuilles à des branches de lilas très vivaces; le lendemain nous avons coupé ces branches ainsi mutilées pour en extraire les gaz, qui nous ont donné 12,8 p. 100 d'oxygène, alors qu'en général nous ne trouvons dans les branches de lilas que 3 ou 4 p. 100 de ce même gaz. Cette augmentation relativement énorme d'oxygène ne peut provenir que d'une diminution considérable de l'énergie des fonctions vitales. Du reste c'est un moyen qu'emploient les jardiniers quand ils veulent établir une dérivation dans la vitalité d'une plante. Lorsqu'ils veulent faire développer une partie aux dépens d'une autre, ils enlèvent les feuilles des branches dont ils veulent diminuer l'accroissement.

Des branches de fusain auxquelles nous avons également enlevé les feuilles et que nous n'avions pas détachées de la plante nous ont donné, trois jours après cette mutilation, 20 p. 100 d'oxygène, quantité que nous n'avons jamais rencontrée dans les plantes à l'état normal.

Ces deux dernières expériences nous donnent une idée de l'importance considérable des organes foliacés pour la vitalité de la plante.

CHAPITRE V

RELATIONS QUI EXISTENT ENTRE LES QUANTITÉS D'OXYGÈNE ET D'ACIDE CARBONIQUE DANS LES FEUILLES

En général, la quantité d'acide carbonique qu'on trouve dans les plantes est d'autant plus considérable que la proportion d'oxygène est plus faible.

Pourtant nous n'avons pu établir, même en prenant les précautions les plus minutieuses, l'existence d'une relation simple entre les quantités de ces deux gaz qui se trouvent à un moment donné dans une plante. Nos expériences de nuit nous portent à croire que l'acide carbonique s'accumulerait dans les tissus pendant l'obscurité de la nuit et se dégagerait surtout le matin. Des feuilles de lilas nous ont donné pendant la nuit jusqu'à 78 centimètres cubes de ce gaz pour 50 grammes de ces feuilles; le noyer nous a donné des résultats analogues.

Dans nos expériences sur les variations journalières faites le 22 et le 25 mai, les plus grandes quantités d'acide carbonique que nous ayons obtenues ont été fournies par les expériences du matin, ainsi qu'on peut le voir dans le tableau du premier chapitre. Pourtant nos expériences sur ce sujet ne sont pas assez nombreuses pour affirmer que le phénomène est général. Les conditions défectueuses dans lesquelles nous nous trouvions placé pour nos expériences de nuit ne nous permettaient pas d'opérer toujours à la même température ni pendant le même temps.

Nous avons déjà dit que l'extraction de l'acide carbonique offrait certaines difficultés pour que les résultats fussent comparables. En effet, la quantité de ce gaz qu'on peut extraire dépend de la température à laquelle on opère et du temps pendant lequel se fait cette extraction. Pour une même température, le volume du gaz qu'on peut extraire est d'autant plus grand que la durée de l'extraction est plus longue. Tout porte à croire que ce gaz est à l'état de faibles combinaisons et que la dissolution de ces composés est facilitée par les faibles pressions prolongées ainsi que le prouvent les faits suivants.

Si on porte brusquement le récipient contenant les feuilles dans un bain à une température de 60° par exemple et qu'on extraye rapidement pendant une ou deux minutes seulement tous les gaz jusqu'au vide, on en obtiendra ainsi une certaine quantité, mais ce qu'on obtiendrait serait bien plus considérable si on avait laissé le récipient à cette même température, pendant un certain temps, une demi-heure ou davantage. L'expérience suivante semble pourtant limiter les conditions dans lesquelles il faut se placer pour avoir à peu près tout l'acide carbonique qui se trouve dans les feuilles :

Nous avons extrait jusqu'au vide les gaz de 50 grammes de feuilles de fusain, le plus rapidement possible ; nous avons ainsi obtenu $2^{\circ},6$ d'acide carbonique mélangé aux autres gaz. Nous avons ensuite chauffé jusqu'à la température de 98° pendant une demi-heure, puis nous avons extrait de nouveau les gaz et nous avons obtenu $18^{\circ},3$ d'acide carbonique et $0^{\circ},2$ seulement d'azote. Pour savoir s'il existait encore de l'acide carbonique dans le tissu des feuilles, nous avons maintenu encore cette température pendant une demi-heure, et une troisième fois nous avons extrait les gaz ; cette fois-ci, nous n'avons obtenu que $0^{\circ},8$ d'acide carbonique, quantité à peu près négligeable.

D'après cette expérience et quelques autres analogues, on peut conclure que pour extraire à peu près complètement l'acide carbonique il faut chauffer vers 100° pendant au moins une demi-heure.

Dans toutes les expériences où il n'a pas été tenu compte de ces remarques on n'a eu qu'une partie du gaz qui nous occupe. Comme dans nos recherches pour un grand nombre d'expériences nous n'avions à nous occuper de l'acide carbonique que d'une façon indirecte, nous n'avons pas toujours pris toutes les précautions que nous venons d'indiquer.

Dans beaucoup de cas, ces précautions nous auraient détourné du but que nous voulions atteindre par la perte de temps qu'elles auraient entraînée : voilà pourquoi nous ne trouvons pas toujours, dans les tableaux qui précèdent, que la quantité d'acide carbonique est d'autant plus grande que l'oxygène est en plus faible quantité. Nous ne pouvons affirmer que cette loi soit absolument générale ; toujours est-il que la plupart du temps elle a été vérifiée par nos expériences, surtout lorsque l'extraction a été faite dans les mêmes conditions, ainsi que le montre le tableau qui est à la fin de ce chapitre. Nous comparons dans ce tableau les résultats différents fournis par une même plante dans des conditions différentes. Nous aurions pu augmenter le nombre d'exemples et fournir une liste bien plus longue, mais nous la croyons suffisante pour confirmer notre opinion. Les résultats que nous mettons sous les yeux de nos lecteurs offrent des différences d'oxygène assez considérables : voilà pourquoi probablement la règle paraît rigoureuse ; mais c'est surtout lorsque les différences d'oxygène sont faibles que nous avons souvent trouvé la règle en défaut, ainsi qu'on peut le voir dans le chapitre des variations journalières.

Tableau représentant les quantités d'acide carbonique retiré de 50 grammes de feuilles en chauffant jusqu'à 60°.

Noms des plantes.	Proportion d'oxygène p. 100 par rapport à l'azote.	Acide carbonique en centim. cubes.
Noyer.....	{ 2,4	17,6
	{ 3,5	9,0
Haricots (Phaseolus).....	{ 5,5	7,0
	{ 3,5	7,6
		6

Noms des plantes.	Proportion d'oxygène p. 100 par rapport à l'azote	Acide carbonique en centim. cubes.
Dahlia.....	{ 2,1	6,1
	{ 6,3	4,8
Sedum Telephium.....	{ 17,3	0,1
	{ 14,7	1,9
Lierre.....	{ 8,5	3,7
	{ 10,9	2,5
Fusain (<i>Evonymus japonicus</i>)....	{ 4,6	2,1
	{ 0,6	4,5
Sureau.....	{ 11,4	1,6
	{ 7,2	7,3
Vigne-vierge.....	{ 13,5	4,4
	{ 2,0	10,8
Cresson alénois (<i>Lepidium sati-</i> <i>vum</i>).....	{ 8,4	3,2
	{ 3,2	7,0

Si nous nous reportons au tableau du chapitre III, nous verrons que, généralement, les plantes qui offrent toujours des proportions d'oxygène assez considérables, telles que celles qui sont à feuillage persistant, renferment relativement peu d'acide carbonique. Au contraire, le lilas, le noyer, la vigne-vierge, le chêne, etc., qui ont toujours de faibles quantités d'oxygène, renferment des quantités énormes d'acide carbonique.

Il est probable qu'une partie de l'acide carbonique qu'on recueille à une haute température provient de réactions chimiques analogues aux fermentations, et qui se produisent sous l'influence de cette chaleur anormale subie par les feuilles. Il est pourtant intéressant de constater que les organes qui sont le siège d'une végétation très active, tels que les jeunes pousses de Lilas, de Chêne, de Noyer et en général de toutes les plantes à feuillage caduc, chez lesquelles nous n'avons toujours trouvé que de faibles quantités d'oxygène, il y a des proportions énormes d'acide carbonique pendant les mois où la végétation chez ces plantes est très active, mais qui diminue avec l'intensité de celle-ci, ainsi que nous l'avons constaté par nos expériences faites à l'arrière-saison sur le lilas, le platane, etc. On ne peut donc nier qu'il n'y ait une relation

intime entre l'énergie de la végétation et la proportion d'acide carbonique, et entre celle-ci et celle de l'oxygène. Si cet acide carbonique extrait à température élevée provenait exclusivement de fermentations indépendantes de la respiration, il devrait se produire en aussi grande quantité à l'arrière-saison que pendant l'époque de la plus grande activité végétale, ce qui n'est pas : donc la relation est indéniable.

CHAPITRE VI

RELATIONS ENTRE LA COMPOSITION DE L'ATMOSPHERE INTERNE DES PLANTES ET LEUR VITALITÉ

Il n'est pas difficile de démontrer, d'après ce que nous venons de voir, que la composition gazeuse de l'intérieur des plantes se rattache directement aux phénomènes de vitalité générale. Les variations de l'une sont la conséquence des variations de l'autre.

Nous allons prouver, en effet, que les résultats de nos recherches avec l'interprétation que nous leur avons donnée sont parfaitement d'accord avec certains faits scientifiques parfaitement établis :

On sait depuis longtemps que les parties jeunes des plantes absorbent plus d'oxygène, toutes choses égales d'ailleurs, que les parties plus âgées. Or, nous avons trouvé dans ce qui précède que les jeunes feuilles renferment moins d'oxygène libre que ces mêmes organes à l'état adulte, et cela, bien entendu, en raison de cette absorption plus énergique qu'elles présentent. On sait encore qu'à conditions égales, les feuilles persistantes absorbent moins d'oxygène que les feuilles caduques. Nos expériences nous ont toujours donné pour les premières plus d'oxygène libre que pour les dernières.

Les plantes grasses, qui absorbent très lentement l'oxygène, nous ont donné des proportions de ce gaz relativement considérables, en raison de cette faible absorption.

En outre, nos expériences nous ont fourni un certain nom-

bre de faits qui prouvent d'une façon indéniable les relations qui font le sujet de ce chapitre, ainsi qu'on va le voir.

Le 15 février les gaz extraits de 50 grammes de tiges de Fusain que nous avons débarrassées de leurs feuilles avant d'en extraire les gaz nous ont fourni 15,5 p. 100 d'oxygène. Le même jour, une heure après avoir cueilli ces branches de Fusain, nous avons pris 50 grammes de branches de Lilas ; les bourgeons de l'extrémité de ces tiges seuls commençaient à grossir, ils étaient longs environ de 5 millimètres ; la végétation de ces plantes était encore peu active, elle commençait à peine à se manifester après le long repos hibernale ; aussi, nous avons trouvé dans ces tiges 15,5 p. 100 d'oxygène, exactement comme pour le Fusain.

Comparativement à ces deux expériences, le 25 mars, alors que la végétation du Lilas était en pleine activité, les bourgeons avaient une longueur moyenne de 18 millimètres, ceux des extrémités étaient largement ouverts et présentaient des feuilles de 10 à 15 millimètres de long ; 50 grammes de ces tiges dont nous avons extrait les gaz ne nous ont donné que 5,63 p. 100 d'oxygène. Ce résultat est frappant ; il est tout à fait évident, d'après cela, que plus l'activité végétale est considérable, plus aussi est faible la proportion d'oxygène libre à l'intérieur de la plante, toutes choses égales d'ailleurs. Après avoir fait cette expérience nous avons pris encore 50 grammes de branches de Fusain avec de jeunes pousses de 18 à 20 millimètres de long ; nous avons enlevé les feuilles adultes et nous avons extrait les gaz des branches avec les jeunes tiges et leurs petites feuilles pour que l'expérience fût comparable à la précédente ; nous avons trouvé 8,9 p. 100 d'oxygène. Cette proportion, quoique plus considérable que dans le cas du Lilas, est relativement très faible pour le Fusain, car nous avons vu que la proportion moyenne de ce gaz dans cette plante était de 14,3 p. 100 ; cette faible quantité relative d'oxygène dénote à cette époque chez cette plante une activité de végétation considérable.

Il est parfaitement établi en physiologie végétale que les

différentes parties d'une même plante n'absorbent pas l'oxygène avec la même intensité ; ainsi par exemple on sait que les organes floraux en absorbent généralement plus que les feuilles, surtout lorsqu'ils sont en pleine activité de développement. Les résultats de nos expériences concordent encore parfaitement avec ces faits. Nous avons trouvé en effet que chez les champignons, lorsqu'on extrait les gaz des différentes parties isolément, les quantités d'oxygène qu'on trouve sont différentes selon que l'activité absorbante est plus ou moins considérable.

50 grammes de champignons entiers (*Agaricus campestris*) fraîchement cueillis nous ont fourni 7,8 p. 100 d'oxygène. 50 grammes de stipes de ces champignons nous ont donné immédiatement après des gaz dont la proportion d'oxygène était de 11,4 p. 100, tandis que 50 grammes de chapeaux, parties où se trouvent les organes fructifères, ne nous ont donné que 5,3 p. 100 du même gaz.

Tous ces résultats sont parfaitement concordants, et nous montrent d'une façon incontestable que l'activité vitale d'une plante est en raison inverse de la proportion d'oxygène qu'elle contient. N'avons-nous pas vu en effet que chaque fois qu'une plante était placée dans des conditions de souffrance, d'étiollement, la proportion d'oxygène augmentait ? On ne peut non plus nier ce fait qu'une plante à l'ombre se développe plus lentement que celle qui se trouve en pleine lumière. La durée de l'évolution complète est plus courte dans la dernière que dans la première ; aussi avons-nous trouvé toujours plus d'oxygène dans les plantes venues à l'ombre que dans celles qui se sont développées en pleine lumière, toutes choses égales d'ailleurs. En somme, tout ceci prouve que plus la croissance d'une plante est rapide, plus aussi l'oxygène est absorbé énergiquement, et par suite moins il s'en trouve de libre dans les tissus.

MM. G. Bonnier et Mangin, dans leur intéressant travail sur la respiration des végétaux, ont reconnu que les plantes jeunes absorbent plus d'oxygène qu'elles ne dégagent d'acide

carbonique, et ils en ont conclu, sans en donner la preuve, que cet oxygène en excès était assimilé. Mes expériences prouvent que ces deux savants étaient dans le vrai. En effet, si dans ces organes jeunes on trouve moins d'oxygène libre que dans les organes adultes, quoique en réalité ils en absorbent davantage, c'est que cet oxygène se combine rapidement. De là nous concluons que les tissus jeunes sont le siège d'une oxydation très énergique.

Enfin voici un dernier exemple qui prouve bien que plus la végétation est active, moins il y a d'oxygène libre dans les tissus : ainsi pour une série de quatre expériences faites sur des feuilles adultes de Fusain, le 25 mars, alors que les jeunes rameaux se développaient en grande quantité et très activement, j'ai eu une moyenne d'oxygène de 12,3 p. 100; tandis que le 26 septembre quatre expériences faites aux mêmes heures m'ont donné une moyenne de 15,8 p. 100 de ce même gaz.

En résumé nous voyons que tous ces résultats sont concordants et portent à conclure que *la proportion d'oxygène augmente lorsque l'activité protoplasmique diminue*. Ceci paraît être un principe général de la matière vivante. J'ai démontré qu'il en était de même pour les gaz contenus à l'intérieur du corps des insectes (1). M. Quinquand a démontré qu'en refroidissant graduellement des chiens, on voit que la proportion d'oxygène augmente dans le sang et qu'il arrive un moment où le gaz peut être en aussi grande quantité dans le sang veineux que dans le sang artériel (2).

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 7 juin 1886.

(2) De l'action du froid sur l'organisme animal vivant (*Comptes rendus de l'Ac. des sc.*, 31 mai 1887).

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

D'après tout ce que nous venons de dire dans ce mémoire sur les variations de l'atmosphère interne des feuilles des végétaux, nous pouvons formuler les conclusions suivantes :

1. La proportion d'oxygène contenue dans les feuilles présente, toutes les vingt-quatre heures, des mouvements oscillatoires dans lesquels nous trouvons toujours deux minima : l'un entre sept et neuf heures du matin et l'autre entre quatre et cinq heures du soir ; et deux maxima, l'un vers midi et l'autre entre minuit et une heure du matin.

La marche de ces mouvements oscillatoires est indépendante des saisons. Le maximum de la nuit est en général plus élevé que celui du milieu du jour.

Ces variations journalières sont indépendantes de l'action chlorophyllienne. Elles sont aussi indépendantes de la température ambiante.

2. D'une façon générale, la proportion d'oxygène dans les feuilles augmente avec l'agitation de l'air.

3. La proportion d'oxygène varie avec l'âge.

Toutes choses égales d'ailleurs, les feuilles jeunes en renferment moins que les feuilles adultes, et celles-ci moins que les feuilles étiolées.

4. Toujours la proportion d'oxygène, toutes choses égales d'ailleurs, est plus faible chez les plantes développées en pleine lumière que chez celles qui se sont développées à l'ombre.

5. Les plantes à feuilles persistantes renferment en général plus d'oxygène que celles à feuilles caduques et que les végétaux annuels.

6. La coloration des feuilles n'a aucune influence sur leur contenu gazeux.

7. En général, la quantité absolue d'acide carbonique

qu'on trouve dans les feuilles est d'autant plus considérable que la proportion d'oxygène par rapport à l'azote est plus faible.

8. Chaque fois que la plante se trouve dans des conditions défavorables à son développement, la proportion d'oxygène augmente; elle diminue dans le cas contraire.

9. Enfin lorsque le rapport de $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ est plus petit que l'unité, c'est-à-dire lorsque la quantité d'acide carbonique émis est plus faible que celle de l'oxygène absorbé, il y a réellement assimilation de ce dernier gaz.

Cette thèse a été faite en grande partie au Muséum d'histoire naturelle, dans le laboratoire de physiologie générale dirigé par M. le professeur Rouget, et terminée dans le laboratoire de botanique de la Sorbonne sous la direction de M. Bonnier.

Que MM. Rouget et Bonnier veuillent bien accepter l'expression de toute ma reconnaissance.

Vu et approuvé.

Paris, le 21 décembre 1887.

Vu et permis d'imprimer.

Le 23 décembre 1887.

Le Doyen,

E. HÉBERT.

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

GRÉARD.

SECONDE THÈSE

DE L'ACTION

PHYSIOLOGIQUE ET TOXIQUE

DE L'HYDROGÈNE SULFURÉ SUR LES ANIMAUX

INTRODUCTION

Les nombreuses divergences d'opinion des savants touchant les actions physiologiques et toxiques de l'acide sulfhydrique nous ont inspiré l'idée de ce travail.

Claude Bernard, qui a fait plusieurs études sur l'action de ce gaz, s'est aperçu que ses expériences avaient besoin d'être reprises afin d'élucider plusieurs points, entre autres l'élimination de l'hydrogène sulfuré par les voies respiratoires.

Grâce à nos nombreuses expériences sur ce sujet nous espérons que maintenant le doute ne sera plus permis au sujet de l'élimination incomplète de ce corps par les voies pulmonaires.

Après avoir fait l'historique de la question nous nous occuperons successivement :

1° Des variations que présente l'absorption de l'hydrogène sulfuré mis au contact de diverses surfaces de l'animal vi-

vant ou détermination de la dose toxique de ce gaz appliqué sur ces surfaces chez les mammifères ;

2° De l'action de l'hydrogène sulfuré sur différents animaux de l'échelle zoologique en dehors des mammifères ;

3° De l'élimination de l'hydrogène sulfuré par les voies respiratoires ;

4° De la recherche de l'hydrogène sulfuré dans l'organisme d'un animal intoxiqué ;

5° Des recherches sur le mécanisme de l'empoisonnement ;

6° Des caractères de l'empoisonnement par l'hydrogène sulfuré ;

7° Enfin dans notre dernier chapitre nous résumerons notre travail et nous en tirerons quelques conclusions générales.

HISTORIQUE

Depuis la découverte de l'hydrogène sulfuré par Berthollet en 1798, on a fait sur ce corps des études nombreuses et intéressantes, au point de vue de l'action énergique qu'il exerce sur l'organisme, soit comme toxique, soit comme remède. Les noms des savants qui se sont occupés de ces études, tels que : Thénard, Dupuytren, Forbes, Milne Edwards, Claude Bernard, etc., témoignent de l'importance qu'on doit attacher à la connaissance des effets physiologiques et toxiques que ce corps exerce sur tous les êtres vivants, plantes et animaux. Malgré les efforts et la compétence incontestée des savants dont nous venons de citer les noms et de beaucoup d'autres, il y a encore sur ce sujet bien des points obscurs, bien des choses à trouver.

Dès 1801, *Sprengel* cite Rollo comme ayant employé l'hydrogène sulfuré contre le diabète (1).

Chaussier (2) a fait sur des animaux avec ce gaz un certain nombre d'expériences très importantes dont nous allons décrire quelques-unes des plus frappantes :

Il faisait à la jambe d'un lapin une incision qui comprenait seulement l'épaisseur de la peau et n'avait que 4 à 5 millimètres d'étendue. Il introduisait par cette ouverture un tube à robinet communiquant avec une vessie pleine d'hydrogène sulfuré ; puis, le robinet étant ouvert, il appuyait sur la vessie, et le gaz pénétrait dans l'organisme. Au

(1) *Histoire de la médecine de Sprengel*, traduction de M. Jourdan, VII, 423.

(2) *Récits périodiques de la Société de médecine*, t. XV, vendémiaire an XI.

bout d'un instant, dit-il, l'animal jetait un cri, puis tombait foudroyé. Il injecta aussi dans la plèvre droite d'un chien 40 centimètres cubes de gaz sulfhydrique; presque aussitôt l'animal tomba à la renverse, ses membres se roidirent; il y eut émission d'urine et de matières fécales, etc., puis mort.

Il essaya aussitôt comme contre-poison l'ammoniaque, l'acide sulfureux et autres réactifs, mais tout fut inutile; la mort était complète. Les vaisseaux disséminés dans le tissu cellulaire sous-cutané étaient gorgés d'un sang noir et visqueux, les muscles les plus superficiels participaient aussi à cette teinte. Mais il admet pourtant que les organes intérieurs ne présentaient point d'altération bien remarquable.

Dans une autre expérience, à l'aide du même appareil, il introduisit par l'anus d'un lapin quelques centilitres de gaz sulfuré pur dans l'intestin terminal. L'animal, dit-il, jeta un cri aigu et mourut au bout de quelques secondes. A l'ouverture du cadavre, il trouva les vaisseaux de l'abdomen remplis de sang noir, le gros intestin était de couleur brunâtre, mais les viscères du thorax et de la tête ne présentaient aucune altération remarquable, ni dans leur couleur ni dans leur consistance.

Chez un cheval il injecta 9 litres d'hydrogène sulfuré pur par l'anus: il mourut après une minute.

Par le rectum d'un lapin, il injecta 8 à 9 centilitres d'une dissolution d'hydrogène sulfuré; l'animal mourut en moins d'une minute.

Il injecta aussi dans l'estomac d'un lapin par un tube à robinet lié à l'œsophage dix centilitres de gaz: il mourut après quelques secondes.

Dans l'estomac d'un autre lapin, il injecta 10 centilitres d'eau saturée de gaz sulfhydrique: l'animal mourut presque aussitôt.

Il introduisit aussi 8 litres d'une dissolution saturée d'hydrogène sulfuré dans l'estomac d'un cheval, l'animal résista sept minutes; au bout de ce temps, comme il souffrait beaucoup, on le tua par la section du bulbe.

Il tua au bout de huit minutes des lapins par absorption cutanée, en introduisant le corps de ces animaux tout entier sauf la tête dans une vessie qu'il remplissait ensuite d'hydrogène sulfuré. Les vaisseaux sous-cutanés étaient, dit-il, remplis de sang noir, mais dans les autres vaisseaux ce liquide avait la teinte normale.

Il a fait la même expérience avec un canard : les accidents furent les mêmes.

Chez un autre lapin, il ne plongea que les cuisses dans l'hydrogène sulfuré, la mort s'ensuivit après trente minutes.

Chez un autre animal de la même espèce, il fait agir le gaz toxique seulement sur la tête en la plongeant dans une vessie contenant de l'hydrogène sulfuré pur et le faisant respirer au dehors par trachéotomie.

Nous ferons remarquer que Chaussier fait agir toujours le gaz toxique pur. Nous ne serons donc pas étonnés de voir qu'il obtient toujours des accidents mortels.

Dans toutes ses expériences, il fait les observations suivantes. Les cavités nasales et bronchiques d'un animal intoxiqué sont plus ou moins enduites d'une mucosité visqueuse brunâtre, le sang est épais et noir ; cette teinte, dit-il, se trouve partout où il y a du sang et même dans le cerveau ; les muscles ne sont pas contractiles, les différentes parties du corps sont plus molles que de coutume ; elles se déchirent facilement et se putréfient promptement.

Nous ferons remarquer aussi que quelques-unes de ces conclusions sont en contradiction avec les expériences qu'il a décrites. Ne dit-il pas en effet, à propos du lapin qui a été tué par absorption cutanée, que les vaisseaux sous-cutanés étaient remplis de sang noir, mais que dans les autres vaisseaux ce liquide avait une teinte normale ? Lorsqu'il a tué un autre lapin en introduisant le gaz dans l'intestin, il fait remarquer lui-même que les vaisseaux de l'intestin sont remplis de sang noir, mais que les viscères du thorax et de la tête ne présentaient aucune altération remarquable, ni dans leur couleur ni dans leur consistance.

En 1808, *William Forbes* (1) recommande l'hydrogène sulfuré pour certaines affections de l'estomac.

Thenard et *Dupuytren* déterminent la dose toxique pour différents animaux, ils la trouvent égale à $1/1500$ pour un verdier, à $1/800$ pour un chien et à $1/250$ pour un cheval.

Orfila, dans son traité de toxicologie publié en 1826, dit qu'il a vérifié les expériences de *Chaussier* et de *Nysten* et que tout s'est réalisé comme ces observateurs l'avaient décrit. Voici quelques-unes des expériences qu'il cite :

EXPÉRIENCE I. — Il injecte 10 centimètres cubes de gaz hydrogène sulfuré dans la veine jugulaire droite d'un chien, l'animal est agité, pousse des cris, puis se calme; il injecta ensuite 20 centimètres cubes par la même voie, il y eut des cris, accompagnés de mouvements convulsifs, puis la mort. Le cadavre fut ouvert aussitôt, on ne trouva pas de gaz dans le corps. Le cœur était gorgé d'un sang noir, les poumons avaient une coloration d'un beau rose.

EXPÉRIENCE II. — Il injecta 10 centimètres cubes d'hydrogène sulfuré dans la veine jugulaire d'un chien à 9 heures 52; il y eut agitation vive, puis vint le calme; à 9 heures 55, la respiration était redevenue normale, on injecta alors la même dose, les mêmes accidents se reproduisirent; à 10 heures 2 nouvelle injection, l'animal poussa de grands cris, les membres s'allongèrent, il paraissait mort, pourtant la respiration reprit bientôt par de grandes et rares inspirations, à 10 heures 7 elle était redevenue naturelle; Détaché, l'animal est resté couché sur le côté dans une grande prostration. A 10 heures 55, il était debout et stupéfié. Le lendemain on prit du sang dans l'artère crurale, il était vermeil (*Nysten*). Il cite encore d'autres expériences de *Chaussier*, mais que nous connaissons déjà.

Voici le résumé de ses appréciations:

Le gaz hydrogène sulfuré respiré est très actif; dans le sang, il l'est moins; dans le tissu cellulaire, dans l'estomac et dans l'intestin il l'est encore moins.

(1) *Annales des sciences médicales de Montpellier*, t. XVII, p. 188.

Comme Nysten l'a observé, dit-il, son action est d'autant plus énergique que les animaux sont plus petits. Il détermine une faiblesse générale. Il est entièrement absorbé sans éprouver la moindre décomposition. Il exerce probablement une altération dans le sang.

Plus tard Nysten, le considérant toujours comme très débilitant, le recommande pour calmer l'irritabilité exagérée qui suit parfois certaines affections pulmonaires ; il l'essaya aussi pour le traitement de la rage, mais bien inutilement (1).

1829. Hünefeld (2) conseille l'action du chlore comme contre-poison de l'hydrogène sulfuré et réciproquement l'hydrogène sulfuré comme contre-poison du chlore.

1830. Broughton (3) dit que le sang d'un animal intoxiqué est épais et noir, que les viscères ont une teinte noirâtre, principalement les poumons, la rate, le foie et le cerveau. Ce dernier paraît teint comme avec une matière brune ; il n'y a plus de sang artériel. On verra plus loin combien ces appréciations diffèrent des nôtres.

Milne Edwards (4) raconte dans son traité de physiologie et d'anatomie comparée les faits suivants :

« En faisant il y a une vingtaine d'années des expériences sur l'action que le gaz acide sulfhydrique exerce sur les charançons et autres insectes nuisibles à l'agriculture, j'ai remarqué que si l'on place ces animaux dans de l'air mêlé à une faible proportion de fluide délétère, ils s'y asphyxient plus lentement que dans l'air, qui en contient beaucoup, mais y meurent plus vite. » Dans le premier cas, dit Milne Edwards, ils s'empoisonnent lentement, tandis que dans le second, quand il y en a beaucoup, la sensation désagréable de l'hydrogène sulfuré sur les lèvres des stigmates en détermine immédiatement la contraction et l'hydro-

(1) *Revue médicale*, 1841, t. III, 293.

(2) *Archiv für mediz Erfahrung*, sept-oct., 1827, p. 789.

(3) In *Quarterly Journ. of sc.*, janvier et mars 1830. *Recherches sur les effets physiologiques de l'oxygène et d'autres gaz sur l'économie.*

(4) *Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée de l'homme et des animaux*, t. II, p. 493.

gène sulfuré ne pénètre plus dans l'organisme, ils s'asphyxient seulement par l'épuisement de la provision d'oxygène renfermé dans l'appareil respiratoire : « accident qui a pour eux des suites beaucoup moins graves que n'en offre l'intoxication par l'acide sulfhydrique, pourvu qu'au bout d'un jour ou deux l'air respirable leur soit rendu. »

1857. Claude Bernard (1) introduit dans la veine jugulaire droite, bout central, d'un chien de taille moyenne plusieurs fois successivement 32 centimètres cubes de gaz hydrogène sulfuré qui se dissout rapidement; avant l'injection, il avait placé sous les narines de l'animal un papier à acétate de plomb. Il y eut presque aussitôt élimination de l'hydrogène sulfuré ainsi que l'attesta le papier de plomb qui noircit; un instant après, il plaça un nouveau papier à acétate de plomb qui resta blanc. Mais lorsqu'il faisait une nouvelle injection de gaz on voyait presque aussitôt la coloration noire apparaître sur le papier réactif, puis après un instant il ne trouvait plus trace d'hydrogène sulfuré dans l'air exhalé, il dit alors que l'élimination est complète; pourtant plus tard, comme nous le verrons plus loin, il admet qu'il est probable qu'il reste encore de l'hydrogène sulfuré dans l'organisme.

Dans un autre mémoire intitulé : *Innocuité de l'hydrogène sulfuré introduit dans les voies digestives. Cause de cette innocuité démontrée par l'expérience* (2), ce même savant rappelle combien est toxique l'hydrogène sulfuré introduit dans l'organisme par les voies respiratoires, et au contraire inoffensif dans le tube digestif, ainsi qu'on le voit tous les jours, pour les personnes qui boivent des eaux sulfureuses. Cela tient, dit-il, à ce que ce gaz n'est pas de la sorte introduit dans le sang artériel, et par suite, il ne peut pénétrer dans la profondeur des tissus, où se passent en définitive toutes les actions physiologiques et toxiques. Introduit dans l'estomac et dans le rectum, il passe par les poumons avant d'arriver au sang artériel.

(1) *Archives générales de médecine* 5^e série, t. IX, 1857. Sur l'élimination de l'hydrogène sulfuré par les surfaces pulmonaires.

(2) *Société de Biologie de Paris*, 1856, p. 137.

Devant la Société de Biologie, il fait l'expérience suivante : il introduit une petite quantité d'eau saturée d'hydrogène sulfuré dans le gros intestin d'un chien à l'aide d'une seringue. Au bout de quelques instants, il place devant les narinaires du chien un papier à acétate de plomb qui noircit. L'animal n'éprouve aucun malaise. Le chien, dit-il, exhale donc l'hydrogène sulfuré introduit dans le gros intestin.

Nous ferons remarquer que Cl. Bernard insiste sur cette élimination qu'il considère comme complète.

En 1865 Demarquay (1) dans une communication à l'Académie des sciences ayant pour titre : *De l'hydrogène sulfuré injecté dans les tissus cellulaires ; de son absorption rapide et de son élimination par les bronches, application à la thérapeutique*, dit qu'il admet l'élimination de ce gaz par les poumons indiquée par Claude Bernard. Il admet, en outre, que la dose influe peu sur la rapidité de la mort, et à l'appui il cite quatorze expériences qu'il a faites sur des lapins, en introduisant des doses différentes d'hydrogène sulfuré pur dans le tissu cellulaire sous-cutané ; dans une seule expérience, il a injecté le gaz dans le rectum. Il a employé les doses suivantes : 500, 400, 200 et 100 centimètres cubes et a obtenu :

Avec 200 cent. cubes, il y a eu mort de l'animal après 25 secondes.

100	—	—	—	25	—
400	—	—	—	26	—
400	—	—	—	24	—

Il a observé une inflammation très nette des bronches et du larynx. Il a examiné au microscope les globules du sang qui lui paraissent tout à fait normaux. Pourtant, dit-il, lorsqu'on retire du sang à un lapin, et qu'on le traite par l'hydrogène sulfuré, il est impossible de lui rendre alors par l'oxygène sa teinte primitive. Il admet que, par intoxication lente, il doit se former des produits septiques. Voici les conclusions qu'il tire de son travail :

(1) *Comp. rend. de l'Ac. des Sc.*, 1883, p. 724.

1° L'hydrogène sulfuré, injecté dans le tissu cellulaire, dans le péritoine ou le gros intestin, est promptement absorbé;

2° Au bout de vingt-cinq secondes, il est éliminé par les voies respiratoires. Un papier réactif mis sous le nez de l'animal indique nettement l'élimination ;

3° L'hydrogène sulfuré se combine tellement avec le sang, que le papier réactif, promené sur les viscères importants de l'économie, n'en indique nulle part la présence.

4° Si on l'injecte à faible dose, l'élimination par les bronches se fait lentement et, à la mort de l'animal, on trouve une inflammation des bronches et de la trachée, au lieu d'une congestion vive quand la mort a lieu rapidement.

Parent-Duchâtelet (1) dit que l'hydrogène sulfuré semble agir sur l'homme avec moins de violence que sur les animaux, il dit qu'on a dû exagérer son énergie d'intoxication même pour les animaux, il a vu des ouvriers n'en être pas incommodés dans un air à 1 p. 100, il a respiré lui-même un mélange à 3 p. 100. Dissous dans de l'eau il doit être moins toxique.

En 1881, M. Laborde (2) a publié un mémoire intitulé : *De l'action physiologique et toxique des gaz dits méphitiques, et en particulier du gaz hydrogène sulfuré*, dans lequel l'auteur dit qu'il a répété les expériences de Claude Bernard au sujet de l'élimination de l'hydrogène sulfuré; il a employé les mêmes doses et s'est placé dans les mêmes conditions. Les résultats fondamentaux qu'il a obtenus sont les mêmes relativement aux phénomènes d'élimination, mais avec des différences dans la production des phénomènes fonctionnels.

« EXPÉRIENCE I. — Injection intra-veineuse (veine jugulaire) de 32 centimètres cubes d'hydrogène sulfuré. Syncope respiratoire, continuation des battements du cœur; élimination du gaz sulfuré par l'expiration; épreuve de Claude Bernard. Mort par syncope cardiaque accidentelle. Ec-

(1) *Mémoire sur le curage des égouts*, Amelot, etc., p. 145.

(2) *Tribune médicale*, 1881.

chymoses pulmonaires. État congestif des noyaux d'origine des nerfs vagues (centre organique respiratoire). A la cinquième minute, le papier ne noircit plus.

« *Autopsie.* — Poumons congestionnés et semés d'ecchymoses particulièrement localisées à la surface des lobes inférieurs droit et gauche. Foie fortement congestionné et de couleur brun acajou. Le bulbe rachidien dans toute son étendue, à sa surface une vive congestion, mais, ainsi que le montrent les coupes, l'injection vasculaire congestive prédomine sensiblement au niveau des noyaux d'origine, des nerfs vagues, c'est-à-dire de la région constituant le *centre fonctionnel respiratoire*. L'élimination se passe exactement comme dans l'expérience de Claude Bernard.

« *EXPÉRIENCE II.* — Injection intra-veineuse, veine crurale, de 25 centimètres cubes d'une dissolution saturée d'hydrogène sulfuré. Syncope respiratoire avec continuation des battements cardiaques : respiration artificielle ; rappel et reprise des mouvements respiratoires spontanés. Deuxième injection, 15 grammes, arrêt définitif des mouvements respiratoires. Mort. État *congestif* du centre organique respiratoire. »

Explication. — « Un papier de plomb noircit presque dès le début, convulsions tétaniques immédiates, arrêt respiratoire, il s'est écoulé quatre minutes, la respiration artificielle est établie ; le cœur, qui battait faiblement, accélère sensiblement ses contractions. A la huitième minute la respiration artificielle étant continuée, les battements cardiaques reprennent peu à peu leur régularité et leur intensité, le papier de plomb n'est plus noirci, il semble que l'élimination possible par la respiration soit complète. A la dixième minute, retour de la sensibilité de la cornée, resserrement progressif de la pupille. A la quatorzième minute l'animal a respiré de lui-même, il revient complètement à la vie. Après quinze à vingt minutes de repos, on répète la même expérience avec 15 grammes seulement de la dissolution ; presque immédiatement, raideur tétanique des membres, arrêt des mouve-

ments respiratoires du thorax, diminution rapide des mouvements cardiaques; dilatation moyenne de la pupille, insensibilité complète de la cornée, l'animal meurt, pas de respiration artificielle. »

Résumé de l'autopsie. — Nombreuses ecchymoses sous-pleurales, foie congestionné. Bulbe, état congestif au niveau du centre respiratoire. Il fait des coupes de bulbe qui examinées au microscope permettent de voir l'altération produite en ce point par l'hydrogène sulfuré.

M. Laborde se demande si tout le gaz hydrogène sulfuré est bien éliminé, et à cet effet il examine le sang au spectroscope et il reconnaît la raie caractéristique de l'hydrogène suffuré. M. Laborde expérimente dans des conditions spéciales; il ne fait agir le poison que dans le sang veineux; dans ce cas, l'intoxication est moins profonde; il n'est donc pas étonnant que la respiration artificielle ait été si efficace dans ses expériences, alors que nous l'avons trouvée souvent insuffisante, surtout lorsque le toxique est introduit directement dans le sang artériel par les voies pulmonaires. Nous insistons sur ce fait, que les conditions des expériences de M. Laborde et les nôtres sont différentes, de là aussi des résultats différents.

Dans le traité de thérapeutique de Nothnagel et Roosbach publié en 1880, nous trouvons beaucoup de faits en rapport avec les résultats de nos recherches; d'autres sont contradictoires, voici le résumé de l'article concernant l'hydrogène sulfuré.

L'hydrogène sulfuré agit sur le sang et sur les centres nerveux; l'oxygène est chassé du sang par ce gaz, car au spectroscope on voit des bandes de réduction. L'hémoglobine se transforme en une substance rouge ressemblant à de l'hématine, mais ne pouvant pas absorber l'oxygène et finalement en une substance qui renferme beaucoup de soufre et qui en couche mince présente une teinte olivâtre; en couche plus épaisse, une coloration rouge; en même temps on voit se précipiter du soufre et une matière albumineuse. Il est re-

marquable que les solutions d'hémoglobine ne renfermant pas d'oxygène n'éprouvent aucune décomposition même quand on les fait traverser par un courant d'hydrogène sulfuré (Hoppe-Seyler). Dans le sérum du sang, les carbonates et les phosphates alcalins (mais non les chlorures alcalins) se transforment sous l'influence du sulfure d'hydrogène en composés sulfureux de l'oxygène, passant à l'état d'hypo-sulfites et de sulfates (Diakonow et Hoppe-Seyler). Ces altérations considérables du sang peuvent être provoquées chez les grenouilles vivantes. En observant des grenouilles dans une atmosphère d'hydrogène sulfuré, on voit le sang se colorer en noir, puis prendre une teinte verte, en même temps que les globules se désagrègent. Mais chez les animaux à sang chaud la mort arrive, par suite de la paralysie des centres nerveux et du cœur, longtemps avant que le sang ait pu subir de grandes altérations ; aussi trouve-t-on chez eux, immédiatement après la mort, le sang simplement veineux, même dans les artères et les bandes d'oxyhémoglobine n'ont nullement disparu.

Chez les animaux à sang chaud, la mort n'est donc que partiellement le fait d'une asphyxie déterminée par l'altération du sang ; il faut encore faire entrer en ligne de compte une action particulière du poison sur les différents centres nerveux, notamment sur ceux de la respiration et de la circulation. En effet, après la mort, le sang n'est jamais complètement désoxygéné comme chez les animaux asphyxiés (pendus). En outre, la paralysie du cerveau, du cœur, de la respiration se produit beaucoup plus rapidement dans l'empoisonnement par l'hydrogène sulfuré que par l'asphyxie ordinaire. De plus, les animaux succombent même lorsqu'on leur fait respirer en même temps de grandes quantités d'oxygène. Schœnbein a montré que l'hydrogène sulfuré, de même que l'acide cyanhydrique, prive un grand nombre de substances organiques, grains, racines fraîches, champignons, ferments, etc., globules sanguins, de leur propriété de transformer le peroxyde d'hydrogène en eau et oxygène. Comme toutes ces substances

perdent leurs propriétés vitales en même temps que leur pouvoir catalytique, on pourrait bien admettre que l'action de l'hydrogène sulfuré s'exerce sur beaucoup d'autres parties du corps et non pas seulement sur le sang.

Ce gaz produit parfois la diarrhée chez certaines personnes; paraît exciter les mouvements péristaltiques. Chez la grenouille, les membres deviennent assez vite rigides, puis verdâtres. Dans les cas d'empoisonnement d'abord la respiration s'accélère, puis se ralentit, il y a de même ralentissement des battements du cœur. Chez les animaux à sang chaud, dyspnée intense puis convulsions générales et dilatation des pupilles; de là, asphyxie par paralysie de la respiration. La respiration artificielle peut souvent sauver la vie (Falck, Kaufmann et Rosenthal). Au sujet de l'élimination, on trouve dans le même ouvrage : « Une petite quantité s'élimine par les urines à l'état de sulfates, si la quantité est considérable, une partie pourrait s'éliminer avec la sueur, avec les urines et avec l'air expiré. »

Nous voyons au contraire, dans le traité de thérapeutique de Rabuteau publié antérieurement à celui que nous venons de citer, des appréciations bien différentes. Il y est dit : « Ce gaz rend les globules du sang noirs. Les muscles sont flasques, ils ne se contractent pas immédiatement après la mort et faiblement par l'électricité. »

Mécanisme de l'empoisonnement d'après Rabuteau. — Les globules rouges deviennent impropres à l'hématose comme par l'oxyde de carbone. Signe caractéristique : sang noir et tissus aussi; cette action est due au remplacement de l'oxygène par l'hydrogène sulfuré sur les tissus et dans le sang, etc. Remèdes indiqués par : l'auteur oxygène, ammoniacque et chlore. Nous verrons que les résultats de nos recherches sont pour la plupart contraires à ces affirmations.

Le *Centralblatt* a publié en 1884 un travail assez important de M. Smirnow (1) sur l'hydrogène sulfuré; voici les points

(1) *Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften*, 1884.

les plus importants de ce travail. M. Smirnow étudie les effets physiologiques et toxiques de l'hydrogène sulfuré mélangé à l'air sur les animaux, chiens et lapins; il prépare, comme nous l'avons fait, les mélanges toxiques titrés dans des ballons de caoutchouc, qu'il fait ensuite respirer au moyen d'une muselière et des soupapes hydrauliques de Muller. Il trace des courbes respiratoires avec le polygraphe de M. Marey. Avec un mélange à 1/10 p. 100 (1/1000), il observa les faits suivants : ce mélange ne détermine ordinairement aucun phénomène toxique, seulement l'animal respire plus profondément et plus abondamment. Avec les mélanges à 1/800 et à 1/700, lorsque l'animal est de petite taille, une minute après qu'il a commencé à respirer le mélange gazeux, il se produit de fortes convulsions, la respiration prend un caractère dyspnéique, devient graduellement plus faible et s'arrête à une expiration. En même temps les pupilles se dilatent, la cornée devient insensible, le pouls se ralentit après une pause qui parfois dure une minute, les mouvements respiratoires reprennent, augmentent graduellement et deviennent normaux; s'affaiblissent de nouveau, puis s'arrêtent, etc.

Ces phénomènes durent aussi longtemps que l'animal respire le mélange gazeux. Si dans l'intervalle on lui fait respirer de l'air pur, la respiration devient rapidement normale.

La section des nerfs vagues et des nerfs laryngés n'a aucune influence sur la périodicité et le degré de faiblesse ou de force des mouvements respiratoires.

Les mêmes phénomènes d'empoisonnement initiaux se présentent avec des mélanges à 1/600 et à 1/500, mais les intervalles de la respiration durent plus longtemps et peuvent chez les animaux de petite taille conduire directement à la mort, tandis que chez les plus grands la respiration peut revenir et une nouvelle pause peut se représenter; cependant le plus souvent la respiration devient en ce cas plus rare, puis régulière jusqu'à ce que le dénouement fatal arrive tôt ou tard. A 1/200 le mélange tue toujours les animaux très rapidement.

L'injection d'eau, saturée d'hydrogène sulfuré, dans le

sang d'un animal, n'a pour résultat qu'un arrêt plus ou moins continu de la respiration, après lequel l'animal recommence à respirer d'une façon régulière.

« L'examen spectral analytique du sang qu'on protégea soigneusement contre l'entrée de l'air ne montra pendant toutes les phases de l'action toxique de l'hydrogène sulfuré que deux bandes d'oxyhémoglobine; on ne trouve pas d'acide sulfhydrique dans les animaux de cette espèce (chien, lapin). On ne l'obtient que si pendant une heure, dans une dissolution d'hémoglobine, on fait passer un courant d'air à $1/500$ ou à $1/400$ d'hydrogène sulfuré. »

Action de l'acide sulfhydrique sur le cœur et la circulation. —

« Si, dans le sang d'un animal sain, on injecte de l'eau saturée d'hydrogène sulfuré, la pression du sang monte chaque fois très vite, aussi longtemps qu'aucun arrêt de la respiration ne se présente; si cet arrêt se produit, la pression du sang descend et demeure affaissée jusqu'à ce que la respiration recommence à fonctionner; alors elle redevient régulière. »

Nous nous réservons, dit-il, une étude ultérieure de ce phénomène.

M. Smirnow continue chez les animaux curarisés, il se présente chaque fois une forte élévation de la pression du sang, soit avec des injections d'eau saturée d'hydrogène sulfuré, soit avec ce gaz pur, soit avec des mélanges d'air et d'hydrogène sulfuré; chez les animaux à qui on a coupé la moelle épinière, on remarque d'abord un abaissement, puis une élévation de la dépression du sang.

« Ni la hauteur de la coupure, ni la section des nerfs splanchniques n'exercent d'influence sur le phénomène observé : fait positif, qui exclut toute participation des centres spinaux. »

M. Smirnow s'occupe aussi de la variation dans l'azote excrété, et il conclut que la masse de l'azote excrété dans les excréments est amoindrie sous l'influence de l'hydrogène sulfuré. Pour la détermination de l'azote de l'urée et des excréments, il emploie la méthode de Kjildahl.

Aucun changement dans la sécrétion du pancréas, de l'estomac et de la bile n'a été observé.

Pendant le cours de nos recherches, nous avons appris que MM. Brouardel et Loye se sont occupés aussi de l'action toxique de l'hydrogène sulfuré sur les animaux. Nous sommes heureux de voir que leurs résultats, qu'ils ont publiés l'année dernière, sont, sur un grand nombre de points, conformes aux nôtres.

Nous lisons, dans un journal d'hygiène du 22 octobre 1885, que ces messieurs ont présenté une note à l'Académie des sciences résumant leurs recherches pour déterminer les conditions de l'empoisonnement par l'hydrogène sulfuré. Voici quelques passages de cette note :

« Les ouvriers qui meurent victimes de l'intoxication par les gaz de vidanges succombent en présentant des accidents en apparence très dissemblables. Pour déterminer la cause de ces variations, nous avons d'abord expérimenté sur des chiens trachéotomisés, auxquels nous faisons respirer des mélanges en proportions connues de gaz sulfhydrique et d'air ; les mélanges à 2 p. 100 et à 0,5 p. 100 nous ont paru les plus intéressants à étudier, car ils se rapprochent de ceux que l'on rencontre fréquemment dans les recherches médico-légales. »

1° Avec le mélange de 2 litres d'hydrogène sulfuré dans 100 litres d'air, c'est-à-dire à 1/50, la mort survient le plus souvent en deux ou trois minutes ; 2° avec le mélange de 0^m,5 d'hydrogène sulfuré dans 100 litres d'air, c'est-à-dire à 1/200, la mort survient dans un délai variant de dix-sept à cinquante minutes.

Ces messieurs étudient avec soin les symptômes de l'empoisonnement, et en particulier l'effet du toxique sur la pupille : sensibilité, contraction, etc., sur la respiration, le cœur, la pression sanguine et sur le sang lui-même.

Voici les conclusions de cet important travail :

« Il nous paraît légitime de distinguer deux causes dans l'empoisonnement par l'hydrogène sulfuré.

« Dans la première, la mort est foudroyante et semble très nettement due à une action sur les centres nerveux. Dans la deuxième, la mort est lente ; aux accidents nerveux se joignent des phénomènes que nous croyons pouvoir rapporter à l'asphyxie.

« C'est la proportion d'hydrogène sulfuré dans l'air qui règle la marche de l'empoisonnement. Un chien est tué en deux minutes, après avoir respiré 5 litres d'un mélange à 2 p. 100 ; un autre chien succombe en trois quarts d'heure, après avoir inhalé 100 litres d'un mélange à 0,5 p. 100. C'est donc moins de la quantité absolue que de la tension dans l'air qu'il faut tenir compte dans cet empoisonnement. »

MM. Brouardel et Loye donneront plus tard les résultats des expériences en cours d'exécution.

Nous finirons ce chapitre par un résumé d'un article sur l'hydrogène sulfuré du *Dictionnaire des sciences médicales* de Dechambre, où nous trouvons des appréciations des plus judicieuses. Au sujet de la décomposition du sang, il y est dit :

D'après Nothnagel et Roszbach, on a constaté une décomposition des carbonates et phosphates du sang. Demarquay ne signale aucune modification globulaire et suppose seulement que le sang doit être altéré. D'autres, et c'est le plus grand nombre, décrivent ces altérations.

« L'explication de pareilles divergences dans les observations me paraît être que, dans le premier cas, on se bornerait à étudier le sang de l'animal tué par l'hydrogène sulfuré, tandis que, dans le second, on recherchait les modifications survenues après le traitement chimique du sang par le gaz toxique dans un verre à expérience. Dans ce cas, on voit, au spectroscope, trois bandes d'absorption, dont deux se rapportent à l'hémoglobine désoxygénée et la troisième, vers le milieu de l'espace CD, laquelle disparaît facilement par un courant d'oxygène. En somme, la question réclame de nouvelles études.

« Au sujet de l'élimination, l'auteur de l'article admet complètement la théorie de Cl. Bernard. La grande voie d'élimi-

nation de l'hydrogène sulfuré est la voie pulmonaire. Rien de plus simple que de démontrer cette proposition. Qu'on injecte, en effet, ce gaz dans un vaisseau, qu'on l'introduise dans l'économie par le rectum ou par le tissu cellulaire sous-cutané, on s'assurera qu'au bout de quelques secondes le gaz a déjà passé dans l'air expiré, car le papier réactif imprégné d'acétate de plomb noircit aussitôt qu'on le place sous le nez de l'animal en expérience. L'exhalation pulmonaire continue plus ou moins longtemps, suivant la quantité de gaz introduit. Il est probable qu'une autre fraction, minime cette fois, s'élimine par la peau, à travers les glandes sudoripares, lieu de passage assez habituel aux produits volatils ou gazeux introduits dans l'organisme. Enfin, on a observé qu'une dernière partie, plus minime encore, se transforme en sulfate et s'élimine avec l'urine. »

Au sujet du mode d'action du toxique, il y est dit :

« Ce poison opérerait de deux façons, premièrement à titre de gaz irrespirable en chassant l'oxygène des globules du sang et paralysant la faculté d'absorption du sang pour ce gaz.

« L'asphyxie ne saurait être niée, mais elle n'est qu'un élément secondaire, je crois, car il faut bien penser que la masse du sang d'un chien, tué en trente ou quarante secondes par quelques centimètres cubes d'hydrogène sulfuré injectés dans les vaisseaux ou sous la peau, cette masse n'a pas pu, en aussi peu de temps, se désorganiser au point de causer la mort. D'ailleurs, le gaz tue, même quand on le fait inhaler avec une proportion très grande d'oxygène ; il tue encore, ou plutôt il achève, les grenouilles exsangues au chlorure de sodium de Lewison » (Nothnagel et Roosback).

Si l'hydrogène sulfuré désorganisait le sang, on ne pourrait en introduire une aussi forte dose dans ce liquide, comme l'a fait Cl. Bernard et nous aussi, sans tuer l'animal. Liebig dit qu'il s'empare des globules, ce qui ne peut être. Non, cet énergique poison ne tue pas les animaux en les asphyxiant directement ; il atteint vraisemblablement le système nerveux

et c'est par une impression violente sur celui-ci, c'est en le paralysant, sans doute, qu'il donne la mort.

La rédaction de notre travail était terminée, lorsque nous avons eu connaissance d'une communication que M. le Dr Cornil a faite à l'Académie de médecine, intitulée : *Des lavements gazeux dans la thérapeutique des maladies respiratoires* (1).

M. Cornil dit qu'on doit à M. Bergeon la méthode du traitement des maladies respiratoires par des lavements d'acide carbonique et d'hydrogène sulfuré. Il donne ensuite des détails au sujet de l'application de cette méthode; il recommande, en particulier, d'être circonspect dans l'emploi de l'hydrogène sulfuré.

Nous avons fait des expériences depuis cette communication, qui nous montrent que l'hydrogène sulfuré est loin d'être inoffensif, même dans la voie rectale; c'est tout simplement une question de dose, ainsi qu'on le verra dans la suite. Il faut bien se garder de prendre dans le sens absolu le titre suivant de la communication de Cl. Bernard à la Société de biologie : *Innocuité de l'hydrogène sulfuré introduit dans les voies digestives. Cause de cette innocuité* (2).

Dans sa thèse, M. Dubois dit que chez les insectes traités par l'hydrogène sulfuré, la lumière disparaît en même temps que les autres manifestations vitales. Il ajoute que pour ces animaux ce gaz est un violent poison, même très dilué.

(1) Séance du 19 octobre 1886.

(2) *Société de biologie* de Paris, 1886, p. 137.

CHAPITRE PREMIER

DÈS VARIATIONS QUE PRÉSENTE L'ABSORPTION DE L'HYDROGÈNE SULFURÉ MIS AU CONTACT DE DIVERSES SURFACES DE L'ANIMAL VIVANT.

Ainsi que nous l'avons déjà vu, la dose toxique de l'hydrogène sulfuré a été trouvée par Thénard et Dupuytren égale à 1/800 pour un chien de taille moyenne. Certains physiologistes et entre autres Parent-Duchâtelet pensent que les effets toxiques de cette substance ont été exagérés. C'est pour cela que nous avons repris cette question et que nous avons mesuré de nouveau cette dose avec le plus de rigueur possible. Pour cela, nous avons fait agir successivement le mélange gazeux sur : la surface interne des poumons, sur la surface externe ou dans la cavité pleurale ; sur la muqueuse de l'estomac et dans la cavité abdominale ; enfin, en plongeant tout le corps de l'animal dans le mélange toxique et le faisant respirer au dehors par une muselière de caoutchouc prolongée d'un tube de verre.

Nous devons faire remarquer tout d'abord que nous avons préparé l'hydrogène sulfuré exclusivement par le sulfure d'antimoine et l'acide chlorhydrique ; que nous l'avons recueilli sur le mercure et que nous ne l'avons mesuré dans une cloche graduée, à robinet de verre, qu'après avoir vérifié l'absorption complète de ce gaz par la potasse. Un volume mesuré d'hydrogène sulfuré était ensuite injecté dans un ballon de caoutchouc qui avait reçu un volume connu d'air, mesuré au compteur à gaz. On avait soin ensuite de bien

mélanger cette masse gazeuse par l'agitation des parois du ballon. Dans ces expériences de mesure, la préparation de l'hydrogène sulfuré par le sulfure de fer doit être rejetée, le gaz obtenu de cette façon contient toujours de grandes proportions d'hydrogène.

Généralement dans nos recherches nous avons commencé par des doses très faibles que nous avons augmentées graduellement.

On a fait respirer à un chien d'assez forte taille, par une muselière de caoutchouc et avec deux soupapes membranées, un mélange de 100 litres d'air et de 50 centimètres cubes d'hydrogène sulfuré, à $1/2000$; l'animal n'a éprouvé aucun malaise de ce traitement. Trois jours après, ce chien toujours bien portant a été repris, nous lui avons fait respirer pendant une heure un mélange de 300 litres d'air et 180 centimètres cubes d'hydrogène sulfuré, mélange qui est à $1/6666$; l'animal n'a éprouvé que des troubles respiratoires très passagers.

Un autre chien du poids de $7^k,600$ est mort après avoir respiré pendant vingt minutes dans un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré à $1/1000$.

Pour nous assurer si la dose de $1/1000$ est toujours toxique, nous avons fait respirer à un autre animal de la même espèce, de petite taille, un mélange semblable : 200 litres d'air et 200 centimètres cubes d'hydrogène sulfuré, pendant une heure. Non seulement ce chien n'a pas succombé, mais il ne paraissait même pas indisposé. Après deux heures de repos nous avons repris ce même animal et nous lui avons fait respirer encore pendant une heure un mélange de même composition, ce chien n'a éprouvé aucun malaise et le soir il a mangé comme de coutume.

Ces faits nous montrent qu'il y a des différences individuelles considérables; nous en verrons du reste d'autres exemples avec des mélanges plus concentrés.

Le 26 mars 1885 nous avons fait respirer à un chien de petite taille un mélange de 100 litres d'air et de 200 centi-

mètres cubes de gaz sulfuré, c'est-à-dire à 1/500 pendant une heure. La première demi-heure nous n'avons rien observé de particulier, mais après trente-cinq minutes de ce traitement, il s'est produit des difficultés respiratoires très prononcées. L'animal faisait de profondes et bruyantes inspirations suivies d'expirations petites et fréquentes. Après quarante-cinq minutes il y a eu des syncopes respiratoires, l'animal restait de soixante à soixante-dix secondes sans produire aucun mouvement respiratoire ; puis la respiration reprenait par deux ou trois fortes inspirations suivies d'autres très petites et très courtes. Au bout d'une heure le mélange étant épuisé nous avons détaché l'animal de la gouttière : il est resté étendu sur le sol pendant une heure ; il respirait avec beaucoup de difficulté ; pourtant peu à peu la respiration s'est régularisée et est redevenue normale après trois quarts d'heure. Pendant les vingt-quatre heures suivantes il n'a pris aucune nourriture, le deuxième jour il a très peu mangé. De cela nous concluons que l'animal aurait certainement succombé s'il avait respiré encore pendant quelques minutes le mélange toxique.

Un autre chien du poids de 6^{kil},500 n'a résisté que quinze minutes à l'action d'un mélange semblable à 1/500.

Enfin un chien de taille moyenne a respiré ce mélange et est mort après trois quarts d'heure de ce traitement.

De ces expériences et de quelques autres dont nous ne parlons pas, nous avons conclu que la dose toxique est pour le chien de 1/500 environ, cette dose variant avec les individus.

Absorption thoracique.

On injecte sous la peau d'un chien de forte taille un décigramme de chlorhydrate de morphine ; une demi-heure après l'animal est très abattu, le train de derrière est à peu près complètement paralysé. On le place sur la gouttière et on pratique entre deux côtes une plaie pénétrante des deux

côtés de la poitrine. (Il faut, pour pratiquer ces plaies, mettre à nu la plèvre pariétale, puis la perforer en faisant pénétrer dans la membrane la pulpe du doigt, on évite ainsi de léser la surface du poumon.) On a fermé cette plaie par un bouchon de caoutchouc à deux trous : l'un recevant une sonde en gomme élastique, l'autre un tube de sortie. A l'autopsie nous avons vu que la sonde avait pénétré profondément dans la cavité pleurale de 12 centimètres au moins. L'animal respirait en dehors du laboratoire par un gros tube de caoutchouc au moyen de deux soupapes hydrauliques ; l'air expiré par l'animal se rendait dans un flacon et traversait une dissolution d'acétate de plomb. Tout étant ainsi disposé, on fait respirer l'animal pendant cinq minutes à titre d'essai ; il se produit dans le sel de plomb un précipité blanc de carbonate de plomb, mais pas trace de sulfure. Nous avons fait ensuite arriver dans la cavité pleurale, au moyen des sondes en caoutchouc, un courant d'hydrogène sulfuré dont l'excédent est rejeté dans le laboratoire par la deuxième ouverture des bouchons qui ferment les deux plaies thoraciques.

Aussitôt que le gaz toxique arrive au contact des poumons, l'animal s'agite violemment, et après deux ou trois inspirations on voit apparaître dans le flacon laveur un précipité de sulfure de plomb. La pénétration de ce gaz dans les poumons a donc été très rapide. L'animal est mort après une minute et demie de traitement.

Nous avons pratiqué l'autopsie immédiatement et nous avons vu que malgré toutes les précautions que nous avons prises le poumon avait été lésé par le doigt en pénétrant dans le thorax.

Après cette vérification nous avons pris un autre chien que nous avons traité par la morphine comme pour le précédent, et nous avons recommencé la même expérience. Cette fois, comme nous l'avons vu plus tard, les poumons n'ont pas été atteints, et pourtant le passage de l'hydrogène dans l'air expiré a été aussi rapide que dans l'expérience

précédente; l'animal est mort aussi après une minute et demie de traitement.

Nous concluons de là que l'hydrogène sulfuré traverse facilement la plèvre chez l'animal vivant, et en assez grande quantité pour devenir rapidement mortel.

Dans les deux expériences que nous venons de décrire nous avons eu soin de conduire au dehors du laboratoire l'air expiré par l'animal après qu'il avait traversé l'acétate de plomb, pour être bien sûr que tout le sulfure de plomb qui se produisait ne provenait que de l'hydrogène sulfuré qui avait traversé la plèvre et non de l'intérieur du laboratoire.

Pour vérifier si les poumons étaient intacts, nous les avons insufflés d'air et plongés dans l'eau; ils n'ont laissé échapper aucune bulle de gaz.

Après cette étude de l'action de l'hydrogène sulfuré pur à travers la plèvre, nous avons employé ce gaz délayé dans de l'air à doses variables.

A cet effet un chien de taille moyenne a été d'abord traité par du chlorhydrate de morphine, puis on a pratiqué, comme dans les expériences précédentes, deux plaies pénétrantes de poitrine par lesquelles nous avons fait circuler dans la cavité pleurale un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré à 1/500, 100 litres d'air et 200 centimètres cubes de gaz sulfhydrique.

Pendant la circulation des gaz autour des poumons, on a placé sur les narines de l'animal un papier mouillé à l'acétate de plomb, il ne s'est manifesté aucune trace d'hydrogène sulfuré. Nous en concluons donc qu'à cette dose le gaz sulfuré ne traverse pas les poumons, ou, s'il les traverse, ce gaz se trouve dans ces organes en si faible quantité, qu'on ne peut déceler sa présence dans l'air expiré.

Sur un autre animal de la même espèce, nous avons répété la même expérience en employant un mélange à 1/100. Cette fois, pour plus de précision, nous faisons rendre les gaz expirés dans une dissolution d'un sel de plomb. Aussitôt que la circulation des gaz commence, on voit apparaître dans

la dissolution de ce sel de plomb un précipité de sulfure qui s'accroît de plus en plus. Le traitement a duré cinquante minutes, le chien n'est pas mort et pourtant la circulation des gaz dans la cavité pleurale s'est faite très régulièrement.

Le lendemain, nous avons répété la même expérience avec un chien du poids de 10 kilogrammes avec un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré à 1/50. Trente secondes après, nous avons constaté, dans l'air expiré, la présence du gaz toxique, l'animal a manifesté de suite des symptômes d'empoisonnement évidents qui ne s'étaient pas produits dans l'expérience précédente, tels que dyspnée, syncopes respiratoires, etc. Après dix minutes de traitement, le chien étend d'abord les pattes antérieures puis les postérieures et enfin, après quarante et une minutes de ce traitement, la respiration s'arrête tout à fait, l'animal est mort. A l'autopsie, nous avons constaté que les poumons étaient intacts. La dose toxique, quand le mélange gazeux délétère est introduit dans le thorax, est donc dix fois plus grande que celle qui a été trouvée lorsqu'il est introduit directement dans les poumons. Il est vrai que la surface d'absorption est dans les poumons bien plus considérable que dans la plèvre.

L'absorption a-t-elle lieu dans l'estomac ?

Nous avons fait pénétrer dans l'estomac d'un chien, par une fistule œsophagienne, un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré à 1/50 en employant une sonde qui pénétrait jusque dans la cavité gastrique. L'estomac s'est distendu, mais les gaz n'ont point pénétré dans l'intestin. On a laissé ainsi l'estomac distendu par le mélange gazeux pendant trois quarts d'heure ; il ne s'est présenté aucun accident et l'hydrogène sulfuré n'a pu être décelé dans l'air expiré. On n'en a pas trouvé non plus dans l'intestin, même en prenant les plus minutieuses précautions.

Chez un autre chien morphiné et anesthésié par le chloroforme, on pratique une fistule œsophagienne et une fistule gastrique et, par des tubes convenablement fixés, on a fait

circuler pendant trois quarts d'heure un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré à $1/25$. Un papier à acétate de plomb placé devant les narines n'a manifesté aucune coloration, il n'y a pas eu d'absorption. A l'autopsie, nous avons remarqué que l'estomac contenait beaucoup de suc gastrique qui avait été probablement sécrété sous l'influence de l'irritation causée par le mélange gazeux employé. Donc, à cette dose, l'estomac est encore réfractaire au passage d'un gaz toxique.

Absorption par la cavité abdominale.

Chez un chien de taille moyenne morphiné et anesthésié, on pratique à l'abdomen deux ouvertures éloignées dans lesquelles on fixe des tubes pour faire circuler un mélange à $1/50$ d'hydrogène sulfuré ; il se produit par les narines une faible exhalation de gaz sulfuré ; la cavité abdominale reste gonflée de gaz pendant une demi-heure. Il n'y a pas d'accident. On substitue ensuite à ce mélange un autre à $1/25$ et presque immédiatement des symptômes d'empoisonnement se manifestent, de grandes respirations ont lieu accompagnées de cris ; après vingt minutes la respiration s'arrête complètement, le cœur continue encore à battre pendant deux ou trois minutes, puis s'arrête aussi complètement. Dans cette seconde partie de l'expérience, c'est-à-dire avec le mélange à $1/25$, l'hydrogène sulfuré a été exhalé en grande quantité.

Absorption cutanée.

Un chien de petite taille a été placé tout entier dans une boîte fermée hydrauliquement et présentant trois ouvertures : l'une pour la respiration de l'animal, l'autre pour l'introduction du gaz délétère et la troisième pour l'échappement des gaz en excès.

L'animal respirait dans le laboratoire au moyen d'une muselière de caoutchouc et d'un tube de cette même substance, tandis que l'appareil producteur d'hydrogène sulfuré ains

que la boîte renfermant le chien étaient placés au dehors.

Le gaz toxique arrivait pur dans la boîte, se mélangeait à l'air qui entourait l'animal et le rendait de plus en plus toxique, au fur et à mesure de sa concentration. L'air expiré barbotait dans une dissolution d'acétate de plomb.

Cinq minutes après le commencement de l'expérience, ce sel de plomb a commencé à noircir. Nous avons fait alors une prise d'air dans la boîte pour l'analyser ; nous y avons trouvé 6 p. 100 d'hydrogène sulfuré. L'animal a succombé après vingt-cinq minutes de séjour dans ce milieu. Une nouvelle prise de gaz au moment de l'arrêt de la respiration nous a fait connaître qu'il y avait alors 15 p. 100 de gaz sulfhydrique. Il résulte de là que pour tuer un chien par absorption cutanée il faudrait une dose soixante-quinze fois plus forte que par les poumons ; en d'autres termes, la peau aurait un pouvoir absorbant pour les gaz beaucoup plus faible que les poumons. Un lapin, placé dans les mêmes conditions, est mort après une demi-heure de séjour dans le milieu toxique ; il y avait au moment de la mort 16 p. 100 d'hydrogène sulfuré. La dose mortelle pour le lapin, par la peau, est plus considérable que chez le chien. Nous avons voulu voir s'il en était de même par les poumons et, à cet effet, nous avons réalisé les expériences suivantes :

Nous avons fait respirer à un lapin, pendant une heure, au moyen d'une muselière de caoutchouc et de soupapes membraneuses, un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré à 1/1000, l'animal n'a manifesté aucun symptôme d'empoisonnement. Détaché de la gouttière, il a marché d'une façon tout à fait normale.

Le lendemain, nous avons fait respirer de la même façon, à un autre lapin, un mélange à 1/800 pendant une demi-heure, il s'est produit quelques troubles respiratoires très passagers. L'animal, abandonné à lui-même, ne paraissait éprouver aucun malaise.

Nous avons ensuite fait respirer à un autre lapin un mélange à 1/500 pendant soixante-cinq minutes. Il s'est produit

des symptômes indiscutables d'empoisonnement, tels que troubles respiratoires profonds, dilatation exagérée de la pupille, mouvements convulsifs des membres, etc., pourtant l'animal n'est pas mort. Détaché de la gouttière, il a pu faire quelques pas, cependant il était si gravement atteint, qu'il est mort dans la nuit.

Enfin nous avons fait respirer à un autre lapin un mélange à 1/400; cet animal est mort quinze minutes après le début de l'expérience. Pendant les premières minutes de ce traitement, la pupille s'est d'abord contractée, puis s'est rapidement dilatée d'une façon exagérée jusqu'à la mort. Immédiatement après la mort, le diamètre de la pupille a diminué de moitié.

Ces expériences sur le lapin nous montrent que cet animal présente par rapport à l'intoxication de l'hydrogène sulfuré une plus grande résistance : dans toutes nos expériences, en effet, les chiens n'ont jamais résisté aussi longtemps à un mélange à 1/500.

Hydrogène sulfuré introduit directement dans le sang.

Avant de terminer ce chapitre, nous allons voir comment ce gaz se comporte lorsqu'il est introduit directement, soit dans le sang artériel, soit dans le sang veineux, chez l'animal vivant.

Nous avons injecté dans la carotide d'un chien du poids de 12 kilogrammes, au moyen d'une sonde allant jusque dans l'aorte, une dissolution d'hydrogène sulfuré concentrée à la température de 12°. L'injection a été faite à des intervalles de trois minutes et par fraction de 1 centimètre cube. L'air expiré se rendait dans une dissolution d'acétate de plomb.

Quatre ou cinq secondes après chaque injection, l'animal éprouvait une forte dyspnée suivie d'un arrêt de la respiration de quinze à vingt secondes. On a introduit, en tout, 9 centimètres cubes de dissolution correspondant à peu près à 20 centimètres cubes de gaz sulfhydrique, l'expérience a duré vingt-sept minutes.

Pendant tout ce temps, il a été impossible de déceler la présence de l'hydrogène sulfuré dans l'air expiré. On a ensuite injecté de la même dissolution dans la veine jugulaire droite du même animal, en liant le bout périphérique et introduisant la sonde jusque dans l'oreillette droite, on injectait chaque fois 1^{cc},5 de dissolution. A cette dose, l'hydrogène sulfuré est apparu dans l'air expiré huit secondes après l'injection ; le sel de plomb prenait une coloration intense, mais l'élimination était de très courte durée, quelques secondes seulement. On a injecté ensuite 3 centimètres cubes d'un coup et alors l'hydrogène sulfuré est apparu dans l'air expiré cinq secondes après l'injection. Nous avons ensuite fait ainsi plusieurs injections de chacune 3 centimètres cubes, et chaque fois les mêmes phénomènes d'élimination se reproduisaient de la même façon. Enfin, nous avons injecté lentement, mais d'une façon continue, 10 centimètres cubes de la dissolution ; dans ce cas, le gaz sulfhydrique est apparu dans l'air expiré trois secondes après l'injection : après deux ou trois inspirations, l'animal a succombé. On voit, d'après cela, que plus la quantité du gaz toxique qui est introduite dans le sang pendant un temps donné est considérable, plus ce gaz apparaît rapidement dans l'air expiré. Il semble qu'il faille une certaine dose pour saturer les éléments : dès que cette dose est atteinte, l'excès doit se dégager par les voies respiratoires. Il est évident que si les choses se passent ainsi, cette saturation sera d'autant plus vite atteinte que la quantité de gaz est plus considérable, or c'est ce que l'expérimentation nous a donné.

Nous avons remarqué aussi qu'à la suite de l'injection de l'hydrogène sulfuré par la veine jugulaire, les phénomènes de dyspnée se produisaient après un laps de temps plus long que lorsque cette injection était faite par la carotide, c'est-à-dire lorsque le poison est directement porté sur les éléments nerveux par le sang artériel. Il est aussi bien intéressant de voir que lorsque nous avons introduit l'hydrogène sulfuré dans le sang artériel, il n'y en a pas eu trace dans l'air ex-

piré; ce qui prouve d'une façon bien frappante que ce gaz ne s'élimine pas complètement par les voies respiratoires. Lorsque nous l'avons introduit dans le sang veineux, il y a eu élimination rapide d'une grande quantité de ce gaz, mais rien ne nous prouve que tout se soit éliminé et qu'il n'en est pas resté dans l'organisme; nous verrons plus loin qu'il s'en fixe toujours sur les éléments.

Il est naturel d'admettre qu'en augmentant la dose du gaz sulfhydrique dans le sang artériel, il doit arriver un moment où les éléments en sont saturés, et alors doit se produire l'élimination. Or, l'expérimentation nous a appris qu'il en était ainsi :

Le 4 janvier, nous avons pris un chien bien portant pesant 8^{kg},500; après l'avoir fixé sur la gouttière, nous lui avons introduit à 3 heures 53, au moyen d'une sonde pénétrant dans la carotide jusqu'au cœur, d'abord 24 centimètres cubes d'une dissolution d'hydrogène sulfuré renfermant 1 centimètre cube de gaz par centimètre cube d'eau. Cette injection a été faite lentement et de trois minutes en trois minutes, injectant chaque fois 3 centimètres cubes de la dissolution. L'air expiré par l'animal se rendait dans une dissolution de 10 centimètres cubes d'un sel de plomb. Tout le gaz a été absorbé par les tissus, il n'y a pas eu trace de coloration.

A 4 heures 18, nous avons injecté au même animal et par la même voie 25 centimètres cubes de la même dissolution par une série de petites injections partielles de 4 centimètres cubes chacune; nous faisons ces injections à des intervalles de temps très courts, de deux minutes, au plus. A la fin de la deuxième de ces injections, le gaz sulfuré s'est manifesté dans l'air exhalé, le sel de plomb s'est légèrement coloré. Il y avait donc dans le sang déjà 32 centimètres cubes d'hydrogène sulfuré, lorsque ce gaz est apparu dans l'air expiré à l'état de trace seulement.

Comme, dans cette expérience, nous avions aussi pour but de déterminer la dose toxique dans le sang artériel, nous

avons continué à injecter ce qui restait encore dans la seringue : il s'est produit vers la fin un peu de dyspnée et une faible agitation ; en somme, l'animal ne paraît pas trop souffrir du traitement.

A 4 heures 23, nous remplissons une quatrième fois la seringue de la même dissolution et nous l'injectons en trois fois, toujours par la même voie. La dyspnée a augmenté ainsi que le sulfure de plomb du barboteur. Enfin, à 4 heures 40, nous remplissons la seringue une cinquième fois et nous injectons en deux fois les 25 centimètres cubes de la dissolution qu'elle contient, dans le sang artériel de l'animal à un intervalle de trois minutes ; la dyspnée augmente de suite ainsi que l'agitation et, quelques secondes après la dernière injection, il y a arrêt complet des mouvements respiratoires, le cœur bat encore, mais il s'arrête tout à fait quelques instants après.

Il a donc fallu pour tuer l'animal 124 centimètres cubes de gaz sulfhydrique dissous dans le même volume d'eau. Le traitement a duré cinquante et une minutes. Les 10 centimètres d'acétate de plomb par où était passé tout l'air expiré pendant les cinquante et une minutes d'expérimentation avaient pris une teinte café au lait, ce qui nous apprend qu'il y a eu en somme très peu d'hydrogène sulfuré d'éliminé par les poumons. Nous avons vu en effet, par une expérience directe, que 3 centimètres cubes de ce gaz dissous dans 10 centimètres cubes d'une dissolution d'acétate de plomb donnent une coloration plus intense que celle que nous avons obtenue dans l'expérience que nous venons de décrire.

Nous ferons remarquer en passant que la quantité d'hydrogène sulfuré qu'il faut introduire dans le sang artériel pour amener la mort de l'animal est relativement considérable, elle est bien supérieure à celle qui serait toxique à travers les poumons. Claude Bernard, du reste, avait remarqué qu'on pouvait introduire impunément dans le sang d'un chien une assez forte dose d'hydrogène sulfuré.

Enfin, nous allons terminer ce chapitre par la détermination de la dose toxique lorsqu'on introduit le poison dans le tissu conjonctif sous-cutané :

Nous avons fait dissoudre sur le mercure, dans 52 centimètres cubes d'eau distillée, 78 centimètres cubes d'acide sulfhydrique ; puis nous avons pris 25 centimètres cubes de cette dissolution que nous avons introduite lentement sous la peau d'un lapin sur le côté gauche à la hauteur de la dernière côte. L'air expiré par l'animal se rendait, au moyen de soupapes hydrauliques, dans une solution d'acétate de plomb. Trois minutes après l'injection, l'hydrogène sulfuré s'est manifesté dans les gaz exhalés ; le sulfure de plomb s'est accentué de plus en plus, avec apparition de symptômes d'empoisonnement très caractérisés : agitation violente, syncopes respiratoires, cris, etc. L'animal est mort douze minutes après l'injection sous l'influence toxique de 37^e,5 d'hydrogène sulfuré contenu dans les 25 centimètres cubes de la dissolution. Ceci nous porte à croire qu'injecté sous la peau, ce gaz est plus toxique que dans le sang, en comparant cette expérience à la précédente.

Les nouvelles applications thérapeutiques qui ont été faites de l'hydrogène sulfuré pour les maladies respiratoires donnent aux expériences contradictoires de Chaussier et de Cl. Bernard, au sujet de l'action de l'hydrogène sulfuré dans le rectum dont nous avons déjà parlé, une importance exceptionnelle.

Aussi avons-nous cru utile de les répéter pour essayer de saisir la cause de cette contradiction.

Après avoir mis à un chien de taille moyenne une muselière en caoutchouc s'adaptant à une soupape hydraulique de Muller, qui lui permettent d'inhaler l'air du laboratoire et d'exhaler dans une dissolution d'acétate de plomb, nous lui avons injecté en deux fois et à trois minutes d'intervalle 150 centimètres cubes d'une dissolution saturée d'hydrogène sulfuré. Presque aussitôt après la première injection, nous avons vu apparaître le gaz toxique dans les

produits exhalés ; après deux minutes, des signes manifestes d'empoisonnement se sont produits : dyspnée très intense, syncopes respiratoires, agitation énergique, cris, etc. L'animal est mort dix minutes après la première injection.

Le lendemain, nous avons injecté dans le rectum d'un autre chien 80 centimètres cubes d'une dissolution saturée d'hydrogène sulfuré. Malgré les précautions que nous avons prises, l'animal en a rejeté aussitôt une certaine quantité que nous évaluons à 20 centimètres cubes environ. Trente secondes après l'injection, il y a eu apparition de gaz sulfhydriques dans les produits exhalés. Trois minutes après, dyspnée très forte, cris, puis arrêts respiratoires de quarante à cinquante secondes, émission abondante d'urine, extension des membres. Douze minutes après l'injection, la respiration tend à se régulariser ; un instant après, elle est tout à fait normale. Il n'y a plus d'hydrogène sulfuré dans l'air expiré. Nous faisons alors une nouvelle injection de 40 centimètres cubes de la dissolution d'acide sulfhydrique ; quarante secondes après, apparition de ce gaz dans les produits d'exhalation, et aussitôt dyspnée très intense ; après deux minutes, il se produit une syncope respiratoire de deux minutes et demie ; puis la respiration se rétablit de nouveau, mais présente toujours le caractère dyspnéique. Enfin l'animal meurt cinq minutes après la dernière injection.

Nous avons remarqué que la dissolution du sel de plomb que traversaient les gaz expirés avait pris une teinte relativement plus foncée, tandis que 10 centimètres cubes de la même dissolution d'hydrogène sulfuré mélangés à une quantité de sel de plomb, égale à celle qui se trouvait dans le barboteur, ont produit une coloration bien plus prononcée. Cette contre-expérience nous prouve qu'il s'élimine peu de gaz sulfhydrique par les voies respiratoires ; la plus grande partie doit se fixer sur les éléments.

Voici maintenant deux expériences qui doivent se rapprocher beaucoup de celles de Cl. Bernard, et dans lesquelles nous avons eu des résultats identiques aux siens :

Nous avons injecté 35 centimètres cubes d'une dissolution concentrée de gaz sulfhydrique dans le rectum d'un chien de taille moyenne; une minute après, il y a eu élimination du gaz toxique par les voies respiratoires. Il n'y a pas eu de symptômes d'empoisonnement. L'animal a mangé le soir comme de coutume. Le lendemain, nous avons injecté au même animal et par la même voie 25 centimètres cubes seulement d'une dissolution concentrée d'hydrogène sulfuré. Ce gaz est apparu abondamment dans l'air expiré, une minute et demie après l'injection; il s'est produit une faible dyspnée.

Il est évident maintenant que, si dans les expériences de Cl. Bernard il ne s'est produit aucun effet toxique, c'est parce que la quantité d'hydrogène sulfuré qui a été administrée était trop faible, car s'il est vrai que ce gaz soit moins toxique dans le tube digestif que dans les voies pulmonaires, il n'est réellement inoffensif qu'à faible dose.

En résumé, nous concluons de tout ce que nous venons de voir que l'administration de l'hydrogène sulfuré par la voie rectale doit être faite par les médecins avec une grande prudence: il ne faut l'employer qu'à faible dose ou très dilué, car une fois ce poison introduit dans l'organisme en trop grande quantité, il serait difficile d'en combattre les funestes effets.

CHAPITRE II

ACTION DE L'HYDROGÈNE SULFURÉ SUR DIFFÉRENTS ANIMAUX DE L'ÉCHELLE ZOOLOGIQUE EN DEHORS DES MAMMIFÈRES.

Oiseaux. — Les oiseaux sont excessivement sensibles à l'action toxique de l'hydrogène sulfuré : ce gaz à 1/1000 est foudroyant pour un oiseau de petite taille, tel qu'un moineau.

Pour étudier cette action toxique sur les oiseaux, nous avons d'abord employé la méthode suivante : l'oiseau en expérience était placé sur le plateau d'une machine pneumatique, qu'on recouvrait d'une cloche tubulée à la partie supérieure. Le mélange toxique était enfermé dans un ballon de caoutchouc que l'on mettait en communication avec l'intérieur du récipient. Puis on produisait une aspiration par la tubulure supérieure du récipient au moyen d'une trompe à eau. L'air est enlevé peu à peu et est remplacé par des quantités correspondantes du mélange toxique ; après un certain temps qui doit être assez court, lorsque le récipient est petit, il est à peu près certain que l'atmosphère du récipient est formée uniquement par le mélange. Mais à cause de la rapidité de l'action toxique du gaz sulfuré cette méthode est défectueuse. En effet, lorsque la mort de l'animal a lieu au bout de quelques secondes, il est évident que l'air qui se trouvait primitivement dans le récipient n'est pas à ce moment complètement chassé, il s'est dilué avec les gaz qui arrivent du ballon de caoutchouc ; il est impossible dans ce cas de connaître la composition exacte du mélange qui a déterminé

la mort. Nous allons pourtant décrire les faits que nous avons observés par l'emploi de cette méthode, quitte à les contrôler par un autre procédé.

Nous avons placé dans un récipient de deux litres un moineau franc et nous avons fait passer, comme il vient d'être dit, un mélange de 50 litres à 1/1000. Le passage du gaz a duré six minutes, l'oiseau s'est agité d'abord, puis il a fermé les yeux, il est tout le temps resté debout sur ses pattes.

Ce mélange ne nous paraissant pas suffisamment toxique, nous en avons fait un autre à 1/700 que nous avons fait circuler comme le précédent. Il y avait à peine quinze secondes que le mélange circulait lorsque l'oiseau a perdu l'équilibre, a agité convulsivement ses ailes et est mort comme foudroyé.

Un autre moineau, placé dans les mêmes conditions et dans le même mélange, perd l'équilibre après trois minutes de traitement, il ne respire plus ; on le sort rapidement du milieu toxique, on lui fait respirer un peu de chlore, il se redresse sur ses pattes, puis se met à voltiger ; cinq minutes après il ne paraissait éprouver aucun malaise. Nous avons ensuite traité un autre moineau par un mélange à 1/900. Trois minutes après le début de l'expérience, l'oiseau perd l'équilibre et tombe en agitant convulsivement ses ailes ; une minute après il se relève et fait de vains efforts pour se tenir sur ses pattes, il retombe aussitôt en se débattant ; il meurt après être resté soumis cinq minutes à l'influence du mélange toxique.

A ces expériences nous allons en ajouter d'autres présentant une bien plus grande précision ; nous avons voulu éviter, par cette nouvelle méthode, l'indécision que nous avons signalée dans les expériences précédentes au sujet de la dose toxique.

Dans un grand ballon de verre d'une contenance de 20 litres, à peu près plein d'air, nous avons fait passer sur le mercure 13^{cc},3 d'hydrogène sulfuré, ce qui fait un mélange à 1/1500 (mélange trouvé toxique par Dupuytren et Thénard), et avant de sortir le goulot du mercure, nous avons

bouché le ballon avec un bon bouchon de caoutchouc. Nous avons ensuite agité le ballon, pendant cinq ou six minutes, pour bien rendre homogène le mélange gazeux ; puis nous avons introduit rapidement, dans ce ballon, un pinson et nous avons rebouché de suite. L'oiseau s'agite vivement, vole de tous côtés et, après trente-cinq secondes, il tombe en agitant convulsivement ses ailes ; il meurt après une minute de séjour dans ce milieu. Nous avons essayé de le ranimer par la respiration artificielle, mais en vain.

Nous avons fait ensuite une nouvelle expérience exactement semblable avec un autre pinson, mais en prenant un mélange encore moins concentré à 1/2000, 10 centimètres cubes d'hydrogène sulfuré dans 20 litres d'air. Les phénomènes, que nous venons de décrire dans l'expérience précédente, se reproduisent ici avec le même degré d'intensité et l'oiseau meurt au bout d'une minute et demie. L'extrême sensibilité de ces oiseaux à l'action toxique de l'hydrogène sulfuré est vraiment surprenante.

Grenouilles. — Contrairement à ce que nous venons de voir pour les oiseaux, les grenouilles paraissent jouir vis-à-vis de l'hydrogène sulfuré d'une immunité assez considérable.

Une grenouille a été placée dans un flacon contenant un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré à 5 p. 100 ; elle y est restée pendant une heure et demie sans mourir ; lorsque nous l'avons sortie de ce milieu, elle paraissait pourtant gravement atteinte dans sa vitalité, elle est morte pendant la nuit. Une autre grenouille est morte dans un mélange de même composition, après une heure trois quarts ; nous admettons donc cette dose comme dose toxique pour ces animaux.

Nous avons voulu voir aussi comment ces animaux se comportent dans un mélange très toxique. A cet effet, dans un flacon de deux litres plein d'eau, nous avons d'abord fait passer un litre d'air, puis un litre d'hydrogène sulfuré ; nous avons fermé le flacon avec un bouchon de caoutchouc, nous avons agité et après dix minutes, le mélange devant être suffisamment homogène, nous avons introduit rapidement une

grenouille; après deux ou trois bonds l'animal est tombé foudroyé.

En prenant pour dose toxique 5 p. 100, nous voyons que les grenouilles sont cent fois moins sensibles à l'action de l'hydrogène sulfuré que le pinson que nous avons vu mourir à 1/2000.

Action de l'hydrogène sulfuré sur les poissons.

Les poissons présentent aussi vis-à-vis du gaz sulfuré une résistance considérable, comparée à celle des mammifères et des oiseaux; on pourra en juger par les faits suivants :

En nous basant sur la dose que nous avons trouvée toxique chez le chien, nous avons placé une carpe dans une dissolution d'hydrogène sulfuré, renfermant 200 centimètres cubes de gaz pour 10 litres d'eau, elle y est restée deux heures sans manifester aucun malaise. Le lendemain, nous avons placé une tanche de 0^m,25 de long, encore dans une dissolution d'hydrogène sulfuré à 1/50; il s'est produit un peu d'agitation après une heure de séjour dans ce milieu; nous avons placé cette tanche, qui nageait encore très bien et ne paraissait pas avoir souffert du tout, dans une autre dissolution à 1/20 ou 5 p. 100. Elle éprouve dans ce nouveau milieu une agitation violente, on la laisse ainsi pendant un quart d'heure, elle nage encore très bien. Nous la plaçons de suite dans une dissolution plus concentrée à 10 p. 100: après cinq minutes de séjour dans cette nouvelle dissolution, elle perd l'équilibre, se place sur le flanc, mais continue à vivre; nous la laissons encore dix minutes dans ce milieu, puis nous la mettons dans une autre dissolution, à 20 p. 100: elle reste toujours sur le flanc, agite convulsivement ses nageoires et ses opercules; enfin après dix-huit minutes les opercules sont immobiles et soulevés, la cavité branchiale est largement ouverte, l'animal paraît mort. Nous le plaçons alors dans de l'eau fraîche dans laquelle nous versons quelques gouttes d'une dissolution de chlore, les opercules s'a-

baissent de suite et bientôt ils se soulèvent lentement pour s'abaisser de nouveau, c'est-à-dire que les mouvements respiratoires réapparaissent. Nous l'avons ensuite placée dans le bassin réservoir où nous l'avons observée pendant plusieurs jours, elle éprouve de grandes difficultés à se tenir en équilibre, elle se laisse tomber souvent sur le flanc; enfin, elle est morte au bout de quatre jours, probablement des suites du traitement que nous lui avons fait subir; en effet, pendant les quatre jours qui ont précédé sa mort, elle nageait à peine, se laissant saisir à la main facilement.

Il est bon de noter que dans les expériences qui précèdent nous nous étions servi d'eau ordinaire pour faire les dissolutions qui devenaient rapidement blanchâtres par suite de la décomposition d'une partie de l'hydrogène sulfuré; de là, une cause d'erreur au sujet de la dose toxique. Les doses trouvées dans l'expérience précédente doivent être trop fortes, aussi dans ce qui va suivre nous nous sommes servi exclusivement d'eau distillée pour toutes les dissolutions, qui sont restées alors parfaitement limpides pendant tout le temps de nos observations. Dans une dissolution d'hydrogène sulfuré à 5 p. 100, nous avons placé une carpe longue de 30 centimètres; elle s'agit d'abord vivement, puis treize minutes après elle perd l'équilibre et tombe sur le flanc; elle reste ainsi trois quarts d'heure sans agitation; les mouvements operculaires deviennent de plus en plus convulsifs, puis s'arrêtent pendant des laps de temps variant de quarante-cinq à soixante-cinq secondes pour reprendre ensuite. Après une heure de séjour dans ce milieu, les opercules restent ouverts sans mouvement; l'animal est mourant. Nous le plaçons de suite dans de l'eau fraîche avec un peu de chlore; les mouvements operculaires reprennent peu à peu, lentement. Nous l'excitons ensuite par le courant d'une bobine d'induction; elle est extrêmement sensible aux commotions surtout le long de la ligne latérale. Nous la plaçons ensuite dans le réservoir, trois jours après elle était morte.

Le lendemain, nous avons mis une tanche de 12 centi-

mètres de long, encore dans une dissolution à 5 p. 100 ; elle paraît bien moins sensible que la carpe à l'action du toxique ; elle reste immobile et semble ne pas respirer, les opercules restent fermés, ils ne remuent qu'à de longs intervalles, sept ou huit minutes, et encore ne se soulèvent-ils que faiblement ; il faut beaucoup d'attention pour en apercevoir les mouvements. Les lèvres s'agitent convulsivement. Après trois quarts d'heure, la tanche s'agite violemment, puis perd l'équilibre et se place sur le flanc. Enfin après une heure de séjour dans ce milieu étant toujours couchée sur le côté, ses opercules se soulèvent, restent ensuite complètement immobiles, la chambre branchiale reste largement béante. Nous la plaçons alors dans de l'eau fraîche avec un peu de chlore : elle abaisse immédiatement ses opercules et reprend peu à peu ses mouvements operculaires.

Après une demi-heure de repos nous la plaçons dans une dissolution à 10 p. 100, elle y reste pendant huit minutes toujours couchée sur le flanc, paraissant très gravement atteinte. Nous la mettons ensuite dans l'eau fraîche et nous l'observons pendant plusieurs jours. Le lendemain et les jours suivants nous remarquons qu'elle est encore très souffrante, elle se meut avec peine, reste à la surface de l'eau, se laisse prendre à la main, n'ayant pas la force de fuir. Elle est morte le cinquième jour après le traitement.

En somme, chez les poissons comme chez la grenouille la dose toxique est de 5 p. 100 ; il y a encore là des différences individuelles pour la rapidité de l'action qui doit tenir surtout à la plus ou moins grande difficulté qu'éprouve le poison pour pénétrer dans l'organisme. Il est probable que si la tanche a résisté plus longtemps que la carpe, c'est parce qu'elle a opposé de suite une résistance plus grande à l'envahissement du poison : nous avons vu, en effet, que ses mouvements operculaires se sont énormément ralentis aussitôt qu'elle a été plongée dans la dissolution ; tandis que la carpe a continué encore pendant quelque temps ces mouvements avec régularité.

Ce qu'il y a encore de frappant dans ces expériences sur les poissons comme sur les grenouilles, c'est l'action lente que le poison exerce dans l'organisme, et qui contraste étonnamment avec ce que nous avons vu chez les mammifères et chez les oiseaux. Pour nous, c'est une preuve de plus de l'élimination incomplète du gaz toxique par les voies respiratoires.

Action de l'hydrogène sulfuré sur les mollusques.

Nous n'avons opéré que sur des mollusques terrestres, l'*Helix pomatia*, escargot, et des limaces.

Deux escargots ont été placés pendant deux heures dans un flacon de 2 litres renfermant un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré à 25 p. 100. Après ce laps de temps, nous les avons sortis de ce milieu pour les examiner, ils étaient complètement morts.

Deux autres escargots ont été placés dans un mélange moins toxique, 10 p. 100 seulement, ils y sont restés deux heures et demie. Aussitôt qu'ils se sont trouvés dans le mélange toxique ils se sont profondément enfoncés dans leur coquille, et n'en sont pas sortis tout le temps qu'a duré le traitement. Aussitôt à l'air nous les avons excités et nous nous sommes assuré ainsi qu'ils n'étaient pas encore morts. Nous avons ensuite enlevé la coquille à l'un de ces escargots sans blesser l'animal, et nous l'avons ensuite replacé dans le mélange toxique ; il y est mort très rapidement.

Il est évident que la coquille doit protéger l'animal contre l'action toxique de l'hydrogène sulfuré ; pour déterminer avec une plus grande précision la dose mortelle dans ce groupe d'animaux, nous nous sommes adressés à des pulmonés nus, tels que les limaces. A cet effet, nous avons placé dans un mélange à 10 p. 100 deux limaces rouges et trois escargots ; après une heure de séjour dans ce milieu nous les avons examinés, aucun de ces animaux n'était mort ; excités, ils se repliaient sur eux-mêmes, se contractaient

encore, mais faiblement. Nous les avons laissés à l'air pendant toute la nuit : le lendemain au matin nous avons trouvé les deux limaces et deux des escargots morts, le troisième faisait de vains efforts pour ramper le long des parois verticales du cristalliseur où il était enfermé ; les forces lui manquant il retombait lourdement à chaque tentative ; ce n'est que vers midi qu'il a pu s'échapper de sa prison, c'est-à-dire dix-huit heures après l'intoxication.

D'après cela nous concluons que la dose toxique pour ces animaux est encore plus élevée que pour les grenouilles et les poissons.

Action de l'hydrogène sulfuré sur certains crustacés.

Nos premières expériences ont porté d'abord sur l'écrevisse (*Astacus fluviatilis*). Une écrevisse a été placée dans une dissolution d'hydrogène sulfuré renfermant 1 centimètre cube de gaz sulfuré pour 2 centimètres cubes d'eau, c'est-à-dire à 50 p. 100. Elle reste d'abord très calme ; dix minutes après elle s'agite violemment, puis bientôt elle perd l'équilibre et se place sur le dos. La force musculaire est peu affaiblie ; en effet, elle serre encore énergiquement lorsqu'on place le doigt entre les deux pinces. A partir de ce moment ses forces diminuent assez rapidement ; après une heure de séjour dans cette dissolution elle pince à peine, elle remue ses pattes convulsivement, puis ces mouvements se ralentissent peu à peu. Enfin après trois heures de ce traitement nous la plaçons dans l'eau fraîche, elle remue encore ses pattes ; tout son corps a pris une teinte verdâtre ; la cornée des yeux est devenue opaque, elle est d'un blanc d'opale, nous l'avons laissée dans l'eau fraîche ; elle est morte pendant la nuit. La dose toxique est ici très élevée, cette résistance à l'action du poison qui nous occupe est frappante, elle est en effet deux cent cinquante fois plus élevée que chez le chien. On ne peut donc dire avec Nysten

que son action (de l'hydrogène sulfuré) est d'autant plus énergique que les animaux sont plus petits (1).

Par contre, les crustacés aériens paraissent beaucoup plus sensibles à l'action du toxique, ainsi que nous allons le voir par les faits suivants :

Nous avons placé deux cloportes dans un mélange à 1/1000 d'hydrogène sulfuré, ils y sont restés deux heures ; lorsque nous les avons mis à l'air, ils remuaient encore les pattes quand on les excitait, mais faiblement ; ils étaient incapables de marcher et se tenaient toujours sur le dos. Vingt-quatre heures après ils étaient morts. La dose de 1/1000 est mortelle pour les cloportes, ils sont donc cinq cents fois plus sensibles à l'action de l'hydrogène sulfuré que l'écrevisse.

Action toxique de l'hydrogène sulfuré sur certaines aranéides.

Pour les araignées la dose toxique est très faible, elle est de même ordre que celle des oiseaux et des insectes aériens.

Une araignée de jardin (*Epeira diadema*) a été placée dans un flacon renfermant un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré à 1/500, elle s'agite vivement d'abord, cherche à fuir, puis après quelques secondes elle se met en boule, reploie ses membres et ne fait plus aucun mouvement, elle ne donne plus signe de vie. Après un séjour de dix minutes dans ce milieu nous la mettons à l'air et nous la surveillons pendant cinq heures, elle n'a fait aucun mouvement, elle est bien morte.

Dans l'expérience précédente la mort de l'araignée ayant été foudroyante, nous avons fait un autre mélange moins toxique à 1/1000, dans lequel nous avons placé deux grosses araignées de jardin ; elles s'agitent d'abord vivement, puis après deux minutes elles reploient leurs pattes et tombent

(1) Orfila, *Toxicologie*, t. II, p. 479, 1826.

sur le dos. Après une demi-heure de séjour dans ce milieu on les met à l'air, elles paraissent bien mortes, ne produisent aucun mouvement même en les excitant. Elles restent ainsi inertes pendant une heure et demie, après quoi on voit les pattes s'agiter faiblement lorsqu'on les excite; peu à peu les mouvements s'accroissent, la vie revient; pourtant elles restent encore sur le dos. Nous les avons ensuite placées dans deux petites cages pour les observer, elles y ont passé la nuit; le lendemain, nous les avons trouvées occupées à tisser une toile, elles paraissaient n'éprouver aucun malaise.

Dans une troisième expérience nous avons placé dans un mélange à 1/1000 trois grosses araignées (*Epeira diadema*), deux minutes après elles se roulent en boule toutes les trois à peu près en même temps et ne donnent plus signe de vie. Après une heure de séjour dans ce milieu nous les avons mises à l'air et nous les avons excitées, elles n'ont fait aucun mouvement. Instruit par les expériences précédentes nous les avons observées pendant dix-huit heures pour voir si elles ne reviendraient pas à la vie, mais elles étaient bien mortes.

Ce qui nous frappe dans ces expériences sur les araignées c'est cette mort apparente qui a duré plus d'une heure. Aussitôt dans le milieu toxique l'animal doit probablement s'isoler de l'atmosphère extérieure en fermant ses stigmates; de là, sous l'influence de cette asphyxie incomplète il doit éprouver un engourdissement qui disparaît peu à peu sous l'action bienfaisante de l'oxygène de l'air pur. Il est évident que malgré ces précautions l'animal doit absorber une certaine quantité de poison qui doit augmenter avec la longueur du séjour dans le milieu délétère; il n'y a donc rien d'étonnant de voir l'animal périr lorsque le traitement se prolonge.

Ces phénomènes d'engourdissement que nous venons d'observer chez les araignées se rencontrent aussi chez certains insectes, ainsi qu'on le verra plus loin.

Action de l'hydrogène sulfuré sur certains insectes.

Nos premières expériences ont porté sur des sauterelles ; nous avons commencé par des mélanges très concentrés, puis graduellement nous avons diminué les doses.

Dans trois flacons renfermant : le premier, volumes égaux d'air et d'hydrogène sulfuré ; le deuxième, un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré à 20 p. 100 ; et enfin le troisième, un mélange à 5 p. 100 ; nous avons mis quatre sauterelles dans chacun des flacons, elles sont tombées foudroyées instantanément dans les trois mélanges avec la même rapidité.

Nous avons placé également quatre sauterelles dans un mélange à 1/250 ; il y a eu d'abord agitation énergique ; après deux minutes, elles perdent l'équilibre, tombent sur le dos et ne font plus aucun mouvement. Après les avoir laissées cinq minutes dans ce mélange, nous les mettons à l'air pour les observer un certain temps. Elles restent ainsi huit minutes sans produire aucun mouvement, même lorsqu'on les excite. Après ce laps de temps, on voit, par instant, les pattes remuer faiblement ; ces mouvements s'accroissent peu à peu, puis les insectes se placent sur leurs pattes. Enfin, après une demi-heure, ils sont assez forts pour s'échapper du cristalliseur où on les avait placés.

Nous ne pouvons nous expliquer la résistance de ces insectes à un milieu aussi toxique que par la fermeture des stigmates, vu la sensibilité extrême de ces animaux à l'action du poison qui nous occupe.

Le lendemain, nous avons placé encore quatre sauterelles dans un mélange à 1/1000 ; après deux minutes de séjour, elles tombent sur le dos et ne font plus aucun mouvement ; nous les laissons là encore huit minutes, puis nous les mettons à l'air ; elles paraissent tout à fait mortes ; elles restent inertes pendant vingt minutes, ne produisant absolument aucun mouvement, même lorsqu'on les excite ; puis, trois de ces saute-

relles commencent à agiter faiblement les pattes; la quatrième reste encore sans mouvement. Enfin, trois quarts d'heure après l'intoxication, ces trois sauterelles sont assez fortes pour s'échapper par bonds; quant à la quatrième sauterelle, ce n'est qu'après deux heures de séjour à l'air qu'elle a commencé à remuer ses pattes; elle ne s'échappe du cristallisoir que trois heures après l'intoxication. Ces différences dans le degré d'atteinte du poison doivent surtout tenir à la quantité que l'animal en absorbe.

Nous venons de voir que des sauterelles laissées cinq minutes dans un mélange à 1/250, et d'autres huit minutes dans une atmosphère à 1/1000 d'hydrogène sulfuré, ont été vivement éprouvées, mais ne sont pas mortes. Il était nécessaire de savoir si en prolongeant le temps d'épreuve, sans augmenter la dose toxique, on tuerait ces mêmes animaux. A cet effet, nous avons mis, dans un mélange à 1/1000, quatre sauterelles qui, après deux minutes, perdent l'équilibre et tombent sur le dos, ne faisant plus aucun mouvement. Dix minutes après, nous mettons à l'air une de ces sauterelles, qui commence à remuer les pattes trois quarts d'heure après, et se ranime complètement peu à peu.

Les trois autres sont restées dans le mélange toxique pendant une heure, puis nous les avons placées à l'air et nous les avons suivies pendant huit heures; elles n'ont pas donné signe de vie; elles étaient bien mortes. Ceci serait une preuve que le poison est absorbé lentement malgré la fermeture probable des stigmates.

Les mélanges employés précédemment, quoique très peu concentrés, nous ont paru encore trop toxiques, puisque les insectes y sont foudroyés si rapidement; nous allons voir qu'une dose plus faible peut encore amener la mort chez ces animaux. Dans un litre d'air, nous avons fait passer trois petites bulles d'hydrogène sulfuré équivalant, au plus, à un demi-centimètre cube. Nous avons bouché le flacon et, après avoir agité pendant cinq minutes, pour rendre le mélange bien homogène, nous avons introduit rapidement une sauterelle et

huit mouches; ces insectes y sont tués aussi rapidement que dans les mélanges précédents. Nous les avons laissés encore trois quarts d'heure, puis nous les avons mis à l'air. Sur les huit mouches, une seule remue encore les pattes, les sept autres sont sans mouvement et sans vie, ainsi que nous l'avons vu par une observation de deux heures. La sauterelle n'a pas été ranimée non plus. Les mouches, ainsi qu'on vient de le voir, présentent, vis-à-vis de l'hydrogène sulfuré, la même sensibilité que les sauterelles; plusieurs autres exemples vont nous en donner une nouvelle preuve.

Dans un autre mélange à 1/1000, nous avons placé quatre mouches qui tombent foudroyées après quelques secondes. Au bout d'une heure, nous les mettons à l'air pour les observer; une des quatre mouches remue aussitôt les pattes, mais les trois autres sont bien mortes, ainsi que nous nous en sommes rendu compte par une observation de six heures. Deux heures après la sortie du mélange toxique, la mouche qui a échappé à la mort remue les pattes, se tient même en équilibre, mais il lui est impossible de voler : ses ailes semblent paralysées.

Nous avons fait ensuite agir notre poison sur des staphylins; l'action de ce gaz sur ces insectes nous a paru présenter un intérêt tout particulier.

Voici ce que nous avons observé :

Dans un flacon de un litre presque plein d'air, nous avons fait passer 1 centimètre cube d'hydrogène sulfuré; après avoir attendu cinq minutes, nous avons introduit un staphylin de grosseur moyenne. Aussitôt dans ce milieu, cet insecte s'agite convulsivement, se tord, puis perd l'équilibre et tombe sur le dos après une minute de traitement; il agite encore les pattes, elles s'arrêtent complètement deux minutes après; les antennes remuent toujours d'une façon convulsive, puis elles s'arrêtent aussi. Il y a quatre minutes que l'insecte est dans le milieu toxique. Nous l'y laissons encore six minutes, puis nous le mettons à l'air; il ne donne plus signe de vie, il est incapable de produire le moindre mouvement, même lorsqu'on le

tourmente. Après une demi-heure, un léger frémissement se produit dans les antennes; ces mouvements s'accroissent peu à peu et s'étendent aux pattes postérieures. Avant cette agitation des pattes, il avait soulevé plusieurs fois l'abdomen comme cet animal a l'habitude de le faire chaque fois qu'il craint quelque danger. Après quarante-cinq minutes de séjour à l'air, il remue la tête facilement, ainsi que les deux paires postérieures de pattes, mais la paire antérieure est encore immobile, paralysée. Lorsque l'animal essaye de se dresser sur ses pattes, la paire antérieure ne lui est d'aucune utilité : ces deux pattes restent toujours croisées sur le sternum, sans mouvement. Le lendemain, à 9 heures, c'est-à-dire quinze heures après l'intoxication, l'insecte se tient péniblement sur le côté droit; trois jours après, il a encore conservé cette attitude et la paralysie des membres de ce côté persiste.

Une nouvelle expérience était indispensable pour savoir si nous observerions des phénomènes analogues. A cet effet, nous avons encore placé, dans un mélange à 1/1000°, un autre staphylin bien vivace. Comme dans le cas précédent, cet insecte perd l'équilibre et se met sur le dos au bout d'une minute. Il remue d'abord convulsivement ses pattes antérieures, puis elles s'arrêtent. Pendant que la première paire de pattes perd ses mouvements, l'agitation se produit dans les pattes de la deuxième paire, puis dans la troisième paire. Enfin, après cinq minutes, tous les mouvements de pattes cessent, les antennes remuent encore quelques secondes. Quant aux phénomènes que nous avons observés pour les pattes, il semble qu'il y ait eu propagation de l'effet toxique de l'avant à l'arrière.

L'insecte est laissé dix minutes dans le mélange, puis il est placé à l'air; il est inerte, ne donnant aucun signe de vie. Après un quart d'heure de séjour à l'air, on le voit, quand on l'excite, relever son abdomen et remuer faiblement les pattes postérieures d'abord, puis celles de la deuxième paire, mais celles de la première paire restent absolument immobiles; il y a paralysie complète; il fait de vains efforts pour se tenir

sur ses pattes, mais inutilement; à chaque tentative il retombe lourdement. Quelques minutes après, les pattes se raidissent de nouveau pour ne plus se mouvoir. Observé pendant six heures, il n'a plus donné signe de vie.

Cette paralysie persistante dans les pattes antérieures, qui s'est présentée dans les deux cas, nous a paru mériter une mention spéciale. Le sens de la propagation de l'effet du poison nous a paru aussi intéressant à noter.

Les chenilles paraissent présenter une plus grande résistance à l'action toxique du gaz qui nous occupe, que les insectes dont nous venons de parler. En effet, en ayant mis plusieurs dans un mélange à 1/1000°, elles ont perdu d'abord tout mouvement, sont devenues flasques comme si les muscles longitudinaux ne présentaient aucune résistance, mais une fois à l'air, elles se sont remises assez rapidement, généralement cinq ou six minutes après, elles rampaient d'une façon normale.

Après ces études sur les insectes aériens, nous avons voulu voir comment se comportaient, à l'égard de l'hydrogène sulfuré, les insectes aquatiques. Nous avons opéré exclusivement sur le dytique. Dans un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré très humide, à 1/250°, nous avons placé un dytique; pendant une heure et demie, l'insecte reste en équilibre, se meut normalement; en un mot, il ne paraît pas souffrir du tout de ce traitement. Placé ensuite dans l'eau fraîche, il nage comme avant. Observé pendant cinq jours, il nous a paru se porter à merveille.

Un autre dytique a été placé dans un mélange de 1 litre d'air humide et 20 centimètres cubes d'acide sulfhydrique, c'est-à-dire à 2 p. 100 pendant une heure et demie; il n'a éprouvé qu'un ralentissement dans la vivacité de ses mouvements. Ce n'est donc pas encore là la dose toxique. Il a été ensuite placé dans de l'eau fraîche et observé plusieurs jours. Quatre jours après, il vivait encore, mais paraissait moins vivace qu'à l'état normal. Le cinquième jour après le traitement, nous avons mis ce même dytique dans un mélange à

20 p. 100. Après une heure et un quart de séjour dans ce milieu, il remuait encore lorsqu'on l'excitait, mais faiblement; on voit qu'il est, cette fois, gravement atteint; nous le laissons là encore un quart d'heure, puis nous le mettons dans de l'eau fraîche; il ne fait plus aucun mouvement, il est bien mort. Observé pendant cinq heures, il n'a plus donné signe de vie. Un autre dytique est resté cinq heures et demie dans un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré à 10 p. 100, puis on le met dans l'eau fraîche; il nage encore, mais faiblement; lorsqu'on le poursuit, il n'a pas la force de fuir, il est mort trois jours après.

Un autre animal de la même espèce est placé dans un mélange formé de volumes égaux d'air et d'hydrogène sulfuré, il paraît de suite sérieusement atteint, on l'y laisse un quart d'heure, puis nous l'avons mis dans l'eau fraîche, il remue encore, mais faiblement; une heure après il était mort.

Une deuxième fois nous avons mis un autre dytique dans un mélange de même composition que le précédent, après quinze minutes de séjour l'insecte ne remue plus; nous le laissons encore huit minutes dans ce milieu, puis nous le mettons dans l'eau fraîche, mais il ne donne plus signe de vie.

Cette résistance énorme du dytique à l'action toxique du gaz sulfuré est vraiment surprenante, il est probable que l'animal s'isole de l'atmosphère ambiante par la fermeture des stigmates, et qu'il a la faculté de résister longtemps à l'asphyxie à cause de la provision d'air qu'il a dans son appareil respiratoire. Cette résistance à l'asphyxie est bien notoire, on sait que ces animaux restent parfois longtemps au fond de l'eau sans venir respirer à la surface. Il est probable aussi que la forte structure de leur carapace offre à l'hydrogène sulfuré une barrière difficile à franchir, autrement il serait difficile de s'expliquer cette résistance dans un milieu aussi toxique. Contrairement à ce que nous avons vu pour les insectes aériens, les dytiques ne tombent pas foudroyés, ils meurent lentement.

Il nous a paru intéressant de voir aussi comment ces animaux se comporteraient dans une dissolution d'hydrogène sulfuré. A cet effet, nous avons placé un dystique dans une dissolution à 10 p. 100, il y est resté une demi-heure, il a d'abord été très agité, puis il est resté au fond de l'eau sans faire aucun mouvement, mais toujours en équilibre, ne nageant que quand on le tourmentait. Placé ensuite dans l'eau fraîche il ne paraissait éprouver aucun malaise du traitement.

Un autre dytique est resté une heure dans une dissolution à 20 p. 100 sans éprouver de malaise apparent. Enfin nous avons mis un troisième dytique dans une dissolution à 100 p. 100, c'est-à-dire volumes égaux de gaz et d'eau, il y est resté huit heures de suite sans mourir et, chose étonnante, il restait toujours au fond de l'eau, ne cherchant pas à venir respirer à la surface. Mis ensuite dans l'eau fraîche il ne paraissait pas avoir souffert; une heure après, il est venu respirer longuement à la surface, la partie postérieure de l'abdomen hors de l'eau, nous l'avons ainsi gardé plusieurs jours. Ces expériences tendent à nous confirmer dans les idées que nous avons émises au sujet de la difficulté que doit éprouver le gaz toxique pour pénétrer dans l'organisme de ces insectes.

Vers. — Nous avons aussi essayé l'action de l'hydrogène sulfuré sur un ver terrestre (*Lombricus*). A cet effet, nous avons placé dans un mélange à 10 p. 100 d'hydrogène sulfuré un gros ver long de 20 centimètres, il y a d'abord excitation, puis peu à peu les mouvements s'éteignent; au bout de quinze minutes, il a l'air mort, son corps est flasque, il ne remue plus même lorsqu'on l'excite. On le sort de ce milieu après une heure de séjour, non seulement il ne manifeste aucun signe de vie, mais encore son corps est mou, il s'est allongé d'une façon exagérée, les muscles sont sans consistance. Cette action énergique du poison sur ces animaux doit probablement tenir à une grande absorption cutanée.

Enfin nous terminons ce chapitre par une expérience que

nous avons faite pour savoir si certains insectes placés dans un mélange très toxique résistent plus longtemps que dans un autre à faible dose, ainsi que M. Milne-Edwards l'a vérifié sur les charançons et autres insectes nuisibles à l'agriculture.

Dans un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré à 50 p. 100 nous avons mis deux araignées, une sauterelle, un frelon, un papillon et une locustide (Éphippigère des vignes). Aussitôt dans le mélange toxique, ces insectes tombent tous comme foudroyés; on les y laisse pendant deux minutes, puis nous les mettons à l'air et nous les observons, pendant cinq heures; ils n'ont plus donné signe de vie, ils étaient bien morts. Si nous obtenons ici des résultats différents de ceux de l'illustre naturaliste que nous venons de citer, c'est probablement parce que nous avons opéré dans d'autres conditions et sur des espèces différentes. Il est vrai que M. Dubois a trouvé des résultats analogues aux nôtres, ainsi qu'il le dit dans sa thèse : « Pour les pyrophores l'action de l'hydrogène sulfuré est foudroyante lorsqu'il est pur. »

Les insectes que nous avons vus dans nos expériences antérieures rester plusieurs heures sans donner signe de vie, puis se ranimer complètement, doivent probablement leur résistance au toxique, à la fermeture des stigmates, ce qui les isole en partie de l'atmosphère ambiante; ils éprouveraient alors un phénomène de vie latente sous l'influence de l'asphyxie incomplète. Dans un mélange très toxique comme celui que nous avons employé en dernier lieu, l'action de l'hydrogène sulfuré doit s'exercer encore assez énergiquement, même à travers les tissus épidermiques; de là, mort assez prompte.

Dans un mélange moins concentré, la pénétration à travers l'épiderme doit se produire aussi, mais comme la quantité de ce gaz qui passe doit dépendre de la tension propre qu'il a dans ce milieu, il n'y a donc rien d'étonnant qu'il faille alors plus longtemps pour amener la mort de l'insecte, c'est pour cela probablement qu'il faut au moins

trois quarts d'heure de séjour dans un mélange à 1/1000 pour que la mort soit complète, ainsi que nous l'avons vu pour les sauterelles, les araignées, les mouches, etc.

La plus ou moins grande rapidité de la mort chez les animaux doit être la conséquence de cette facilité plus ou moins grande de pénétration du poison dans l'organisme.

D'après ce que nous venons de voir, nous ferons remarquer qu'en général les animaux sont d'autant plus sensibles à l'action du toxique que la quantité d'air qui leur est nécessaire pendant un temps donné est relativement plus considérable. En d'autres termes, ils sont d'autant plus sensibles que l'activité respiratoire est plus grande. Les doses que nous avons toujours trouvées toxiques pour les oiseaux et les insectes aériens comparées à celles des poissons, des mollusques et des grenouilles, en sont des exemples frappants.

CHAPITRE III

DE L'ÉLIMINATION DE L'HYDROGÈNE SULFURÉ PAR LES VOIES RESPIRATOIRES

Cl. Bernard (1), après avoir cité plusieurs expériences qu'il a faites sur des chiens, admet que l'hydrogène sulfuré introduit dans l'organisme s'élimine rapidement et complètement par les voies respiratoires. Il se base surtout sur ce fait, que nous avons toujours observé aussi, que lorsqu'on introduit une certaine quantité d'hydrogène sulfuré dans l'économie d'un animal, ce gaz se manifeste presque aussitôt dans l'air expiré et qu'il ne s'y manifeste généralement que pendant un temps très court. Pourtant il ajoute plus loin qu'il semble probable que tout ne soit pas éliminé par les poumons et, comme preuve, il dit que lorsqu'on injecte une petite quantité d'hydrogène sulfuré surtout dans le sang veineux en un point éloigné des poumons, on ne voit pas ce gaz s'éliminer par l'expiration. Ceci doit tenir, dit-il, probablement à ce que le gaz a eu le temps de se transformer en sulfure dans le sang avant d'arriver aux poumons. Il met ensuite en évidence la présence de ce sulfure en traitant le sang intoxiqué par de l'acide chlorhydrique qui donne en chauffant de l'hydrogène sulfuré.

« Lorsqu'on administre à un animal des solutions faibles d'hydrogène sulfuré, ce gaz peut se modifier en totalité dans le sang et n'est pas éliminé dans les poumons, à moins que l'on n'absorbe ces solutions pendant un temps très long et

(1) *Archives générales de médecine*, 5^e série, t. IX, 1857, p. 129.

en assez grande quantité, pour que le sang, en étant saturé, puisse laisser une certaine quantité d'hydrogène sulfuré s'échapper par les poumons. »

Il ajoute :

« Toutes ces expériences devraient être variées et multipliées si l'on voulait étudier complètement l'action de l'hydrogène sulfuré sur l'économie animale. »

Enfin, en terminant son mémoire, Cl. Bernard dit : « Il résulte déjà cependant un fait qu'il nous a paru important de signaler, c'est que l'hydrogène sulfuré circulant dans le sang a une grande tendance à s'éliminer par les poumons. »

Nous avons suivi les conseils de l'illustre physiologiste que nous venons de citer, et pour cela nous avons fait un grand nombre d'expériences qui nous portent à croire que cette tendance d'élimination de l'hydrogène sulfuré par les poumons n'est pas aussi considérable que le pensa Cl. Bernard, et avec lui beaucoup de physiologistes.

Mais voyons d'abord les faits :

Le 29 octobre 1884, nous avons fait respirer à un chien de taille moyenne un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré à 1/1000. Il s'est manifesté rapidement chez l'animal des phénomènes d'empoisonnement, tels que : dyspnée très intense, syncopes respiratoires multipliées, etc. Après douze minutes de ce traitement, nous avons fait respirer ce chien dans l'air et nous avons placé presque aussitôt sur ses narines un papier à acétate de plomb mouillé. Ce papier est resté parfaitement blanc, il n'y a pas eu trace de sulfure de plomb formé. On le laisse ainsi pendant trois minutes, puis on fait arriver l'air expiré, au moyen des soupapes hydrauliques de Muller, dans une dissolution d'acétate de plomb pendant un quart d'heure, elle est restée tout à fait incolore.

Le lendemain, nous avons repris le chien qui nous avait servi la veille et nous lui avons fait respirer un mélange à 1/800. L'animal paraît extrêmement sensible à l'action du gaz toxique : après deux minutes, nous sommes obligés d'arrêter le traitement ; il y a menace de mort, on pratique

la respiration artificielle et lorsque le chien respire assez librement, on lui remet la muselière pour lui faire respirer une deuxième fois le mélange toxique; mais il se produit de suite des troubles respiratoires si graves, que nous sommes obligés d'arrêter après une minute. Aussitôt la muselière détachée, ce qui a duré quatre à cinq secondes au plus, nous avons placé sur les narines de l'animal un papier à acétate de plomb, qui est resté incolore.

Le 31 octobre, nous faisons respirer à un chien, jeune et vigoureux, pesant 8^{kg} 300, un mélange d'air et d'acide sulfhydrique à 1/800. Pendant les trois premières minutes, il ne se manifeste aucun phénomène particulier; la respiration devenant ensuite rapidement pénible, difficile, nous avons dû arrêter l'expérience après huit minutes de ce traitement. Nous mettons alors la muselière en communication avec des soupapes hydrauliques et, quarante secondes après, l'air expiré arrive dans une dissolution d'acétate de plomb pendant une demi-heure; cette dissolution est restée complètement incolore.

Le 2 novembre nous avons repris le chien qui nous avait servi dans l'expérience précédente, il était complètement remis; nous lui avons fait respirer encore un mélange à 1/800. La dyspnée se produit deux minutes après le commencement de l'expérience, puis agitation convulsive des membres; des syncopes respiratoires de vingt à trente secondes, etc.

Après quinze minutes de ce traitement, nous le faisons respirer dans l'air et, huit secondes après, les gaz expirés se rendent dans une dissolution d'acétate de plomb qui reste incolore. Nous voyons, d'après ces premières expériences, combien est courte la durée de l'élimination; nous allons, du reste, déterminer bientôt cette limite d'une façon plus précise.

Hydrogène sulfuré dans le tube digestif.

Introduit dans le tube digestif, à l'état de dissolution, l'hydrogène sulfuré s'élimine, pendant un laps de temps relativement long, par les voies respiratoires. Après une heure de repos, alors que l'animal était tout à fait remis, que sa respiration était normale, nous avons introduit dans l'estomac du chien qui vient de nous servir pour l'expérience précédente 400 centimètres cubes d'une dissolution concentrée d'hydrogène sulfuré. Il ne s'est manifesté aucun phénomène d'empoisonnement. Nous avons essayé immédiatement les gaz expirés, soit au moyen du papier à acétate de plomb que nous placions sur les narines de l'animal, soit en faisant rendre les produits de l'expiration dans une dissolution de ce même sel. Nous avons constaté ainsi l'exhalation de l'hydrogène sulfuré pendant quinze minutes, qui ont suivi l'ingestion de ce corps dans le tube digestif. L'animal ne nous a pas paru avoir souffert du traitement, il est probable que, dans ces conditions, le gaz toxique s'élimine lentement, par suite de cette faible absorption des parois stomacales, sans passer dans le sang artériel. Les expériences que nous avons décrites dans notre premier chapitre tendent à nous le faire croire.

Cette élimination lente de l'hydrogène sulfuré introduit dans le tube digestif contraste étonnamment avec ce qui se passe lorsqu'on introduit cet agent directement dans le sang ou dans les poumons. Dans le premier cas, l'absorption de ce corps par les parois de l'estomac doit être à peu près nulle, puisque nous avons vu que ce gaz introduit dans ce viscère en grande quantité n'a pu être décelé dans l'air expiré. Dans le sang, au contraire, l'absorption est rapide, comme on va le voir surtout par les faits suivants :

Étant admis que les éléments anatomiques absorbent l'hydrogène sulfuré, nous avons voulu étudier de près ce mode

d'absorption et à cet effet, nous avons réalisé les expériences suivantes :

Nous avons injecté d'abord dans la veine jugulaire d'un chien, pesant 12^{kg},300 (bout central), 60 centimètres cubes d'une dissolution renfermant 1 centimètre cube de gaz sulfhydrique, pour 4 centimètres cubes d'eau distillée. Cette injection a été faite lentement et en trois fois; les gaz expirés se rendaient dans une dissolution d'acétate de plomb. Nous n'avons pas constaté de trace de gaz sulfuré dans les produits de l'expiration. Donc, les 15 centimètres cubes d'hydrogène sulfuré, contenus dans les 60 centimètres cubes de la dissolution, ont été complètement absorbés par les éléments. Il ne s'est manifesté aucun phénomène d'empoisonnement. Nous avons ensuite laissé reposer l'animal pendant une heure, puis nous lui avons injecté, par la même voie, 15 centimètres cubes d'une dissolution renfermant 1 centimètre cube de gaz par centimètre cube d'eau. Cette fois, nous avons vu apparaître l'hydrogène sulfuré dans l'air expiré, quatre secondes après cette injection. Ici, la tension du gaz est trop forte, le pouvoir absorbant des éléments n'est pas assez énergique pour s'emparer de tout le gaz sulfuré qui leur est offert; par suite, une partie s'échappe par les voies respiratoires. L'animal a éprouvé une faible dyspnée et un peu d'agitation, mais quelques heures après il n'y paraissait plus rien, le soir il a mangé comme de coutume.

Trois jours après, nous avons pris le même chien et nous lui avons injecté, dans la veine jugulaire (bout central), d'abord 25 centimètres cubes d'une dissolution d'hydrogène sulfuré renfermant 1 centimètre cube de ce gaz pour 2 centimètres d'eau distillée. L'injection a été faite lentement, elle a duré deux minutes. Les gaz exhalés se rendaient dans une dissolution d'acétate de plomb; il ne s'est pas manifesté trace d'hydrogène sulfuré dans les gaz expirés, tout a dû être absorbé par les éléments de l'organisme. Vingt minutes après, nous lui avons injecté encore 25 centimètres cubes de la même dissolution, assez rapidement; il y a eu de suite

de la dyspnée et apparition de l'hydrogène sulfuré dans les gaz expirés, quelques secondes après l'injection; puis une syncope respiratoire de vingt secondes.

Quinze minutes après cette deuxième injection, nous en avons fait une troisième encore de 25 centimètres cubes de la même dissolution, qui a été suivie d'une nouvelle dyspnée et de plusieurs syncopes de quinze à vingt secondes, il y a eu apparition de l'hydrogène sulfuré dans trois expirations seulement, puis, plus trace. Nous pouvons donc admettre que la quantité de ce gaz qui s'élimine ainsi est très faible, ainsi que le témoigne le peu de coloration du sel de plomb.

Trois minutes après cette troisième injection, nous en avons fait une quatrième encore de 25 centimètres cubes, et les mêmes phénomènes que nous venons de décrire se reproduisent exactement. Enfin, pour voir à quelle dose succombera l'animal, nous faisons une cinquième injection de 25 centimètres cubes. Cette fois-ci l'injection n'est pas encore terminée, que le gaz sulfhydrique apparaît déjà dans l'air expiré. La présence du gaz toxique indique que les éléments doivent être saturés. Là encore, l'élimination n'a lieu que pendant deux ou trois expirations, et la quantité qui s'échappe ainsi est encore très faible. L'animal éprouve une forte dyspnée et des syncopes respiratoires prolongées, de quarante à soixante secondes.

Nous faisons ensuite une dernière injection de 25 centimètres cubes d'une dissolution plus concentrée; 84 centimètres cubes de gaz pour 50 centimètres cubes d'eau distillée. Le gaz sulfuré apparaît cette fois en grande abondance dans l'air expiré, le sel de plomb prend une coloration très foncée et, une minute après cette injection, les mouvements respiratoires cessent tout à fait, ainsi que les battements du cœur.

En somme, nous avons introduit dans le sang, dans l'espace d'une heure, 104 centimètres cubes de gaz toxique, dont une faible partie seulement a été éliminée. Nous voyons, en outre, que toutes choses égales d'ailleurs la quantité de gaz exhalée est d'autant plus considérable que la tension est plus

forte. Nous ne pouvons donc admettre que l'organisme ne contient plus de gaz sulfhydrique, parce qu'on n'en trouve plus trace dans les gaz expirés après quelques secondes. Au contraire, connaissant rigoureusement la quantité de cet agent qu'on a fait pénétrer dans le corps de l'animal et, d'autre part, le peu qui en est sorti, nous concluons tout naturellement que la différence doit être fixée par les éléments, en nature ou après transformation. Nous avons vu aussi dans cette expérience que lorsqu'on injecte ce poison à petites doses, rien ne s'échappe par les voies respiratoires; donc il doit se fixer en totalité pour être éliminé plus tard par d'autres voies. Le peu de durée de l'exhalation de ce gaz nous montre bien qu'il ne s'en élimine qu'une faible quantité. Comment admettre, en effet, que tout ce que l'animal a absorbé de ce gaz, pendant une demi-heure ou une heure qu'il a respiré le mélange toxique, soit éliminé dans deux ou trois expirations? Or, nous savons qu'il ne s'en échappe par les voies respiratoires que lorsque la tension de ce gaz est trop forte; lorsqu'elle dépasse le pouvoir absorbant des éléments; on ne peut nier que ces faits ne soient des plus probants. Il le fallait pour nous décider à admettre des idées qui semblent contredire les expériences de Cl. Bernard, mais qui en réalité ne font que les compléter.

A tout ce que nous venons de dire, nous allons encore ajouter deux expériences qui nous paraissent trop intéressantes pour que nous les passions sous silence : elles prouvent combien est grande parfois la quantité d'hydrogène sulfuré qu'on peut faire absorber par l'organisme sans qu'il y ait élimination par les voies pulmonaires.

Nous avons introduit, dans le rectum d'un chien, 100 centimètres cubes d'une dissolution d'hydrogène sulfuré ne contenant qu'un centimètre cube de gaz par centimètre cube d'eau. Les produits de l'exhalation se rendaient dans une dissolution d'acétate de plomb. Pendant les quinze minutes qui ont suivi l'injection, il n'y a pas eu trace de gaz sulfhydrique dans les produits exhalés. Et pourtant, nous savons

que lorsque cette élimination a lieu, elle se produit presque aussitôt l'introduction du toxique dans l'économie. Pour plus de garantie, nous avons injecté encore 90 centimètres cubes de la même dissolution dans le rectum d'un autre chien, et pendant les trois quarts d'heure qui ont suivi ce traitement, nous n'avons pu déceler la présence de l'hydrogène sulfuré dans les gaz exhalés. L'animal n'a éprouvé que de faibles troubles respiratoires; détaché au bout d'une heure, il ne paraissait éprouver aucun malaise.

Ne pouvant nier l'absorption par la voie rectale, puisque nous avons produit avec des solutions concentrées des accidents mortels, nous sommes obligé de convenir qu'à ces faibles doses les éléments s'emparent de tout l'hydrogène sulfuré et que rien ne s'élimine par les poumons. De tout cela, nous concluons que l'exhalation de ce gaz dépend surtout de la tension qu'il a, lorsqu'on l'introduit dans l'organisme. Nous voyons en effet que, lorsque nous avons introduit dans le rectum 90 centimètres cubes et 100 centimètres cubes de gaz sulfuré dans un égal volume d'eau, nous n'avons pas eu d'élimination par les poumons; lorsque, au contraire, nous avons injecté 25 centimètres cubes seulement d'une solution concentrée qui ne renfermait certainement pas 90 centimètres cubes de gaz toxique, puisque le coefficient de solubilité est 3 à la température de 15°, à laquelle la solution a été faite, il s'est produit une élimination très prononcée.

Malgré le grand nombre d'expériences que nous venons de décrire qui sont toutes parfaitement concordantes, nous avons voulu, pour qu'il ne restât aucun doute dans l'esprit de nos lecteurs, au sujet de la faible élimination par les voies respiratoires de gaz sulfhydrique et de sa fixation par l'organisme, nous placer dans des conditions encore plus rigoureuses, d'une exactitude irréprochable.

Le 27 mars, nous avons fait respirer à un chien de taille moyenne un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré à 1/500; il s'est produit comme toujours des phénomènes de dyspnée,

d'agitation convulsive, des syncopes respiratoires, etc. Après trois quarts d'heure de ce traitement, nous avons fait respirer l'animal dans l'air en adaptant la muselière de façon à faire arriver les gaz expirés dans un sel de plomb en dissolution; il nous a fallu quinze secondes pour faire ce travail. La dissolution du sel de plomb est restée parfaitement incolore, il n'y avait donc déjà plus de gaz sulfuré dans les produits de la respiration. Nous avons laissé les choses marcher ainsi encore pendant douze minutes, après quoi nous avons recueilli immédiatement, dans un ballon de caoutchouc, 50 litres de gaz expirés par ce chien en huit minutes trente secondes. Nous avons fait passer ensuite ces 50 litres de gaz bulle à bulle dans un barboteur à boules, renfermant 6 centimètres cubes seulement d'une dissolution d'azotate de plomb. Ce barbotage a duré plus de douze heures, il était actionné par une trompe à eau. Il n'y a pas eu la moindre coloration dans le sel de plomb du barboteur. Nous pouvons donc affirmer que pendant vingt minutes qu'a duré l'essai des produits de l'expiration, il n'y a pas eu trace d'hydrogène sulfuré. Le peu qui s'est échappé a dû s'éliminer pendant les quinze secondes qui ont suivi l'intoxication.

Or, ces quinze secondes représentent à peu près quatre expirations et inspirations. La quantité de gaz absorbé a dû être pourtant assez considérable, car l'animal a donné tous les signes caractéristiques de l'empoisonnement. Du reste, nous avons toujours remarqué dans le cours de nos recherches, non seulement dans les expériences que nous venons de citer, mais encore dans beaucoup d'autres, *que lorsqu'un animal a respiré plus ou moins longtemps un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré, ce dernier ne paraît dans les gaz exhalés que pendant les deux ou trois premières expirations qui suivent l'arrêt de l'intoxication.* Pour nous, nous sommes convaincu d'après ces observations qu'il ne doit y avoir de rejeté que le résidu pulmonaire.

CHAPITRE IV

RECHERCHE DE L'HYDROGÈNE SULFURÉ DANS L'ORGANISME D'UN ANIMAL INTOXiqué

Nous venons de voir dans le chapitre précédent que l'hydrogène sulfuré se fixe dans l'organisme. Une fois convaincu de ce fait, nous avons cherché à déterminer la présence de ce corps dans les organes et dans le sang après intoxication. Quoique nombreuses et variées, nos tentatives n'ont pas été couronnées par un succès aussi complet que nous l'aurions désiré; nous nous sommes heurté à des difficultés qu'il nous a été impossible de vaincre complètement. Pourtant, nous avons la consolation de croire que nos recherches offrent quelque intérêt scientifique et que le peu de lumière que nous avons fait jaillir compense la peine que nous avons prise et nous indemnise du temps que nous y avons consacré.

C'est sur le sang que nous avons fait nos premiers essais.

Après avoir introduit dans le sang artériel d'un chien une quantité suffisante d'hydrogène sulfuré à l'état de dissolution pour amener la mort de l'animal, nous avons pris, aussitôt après l'arrêt du cœur, 300 centimètres cubes de sang par la veine cave inférieure. Nous avons placé ce sang dans un ballon de verre que nous avons chauffé au bain-marie, à la température de 80° et nous avons fait passer dans ce sang un courant d'air qui traversait ensuite un barboteur contenant une dissolution d'acétate de plomb, cette dissolution est restée tout à fait incolore. Donc, ce sang ne contenait pas d'hydrogène sulfuré libre, car le barbotage a duré une demi-heure

et, s'il y en avait eu, même des traces, il aurait été certainement entraîné et aurait coloré le sel de plomb.

Pourtant, ce procédé nous paraissant un peu primitif, nous l'avons remplacé dans la suite par un autre beaucoup plus parfait : celui de l'extraction des gaz du sang par la pompe à mercure d'Alvergnot et l'appareil de M. Gréhan. Nous avons pris 75 centimètres cubes de sang dans la veine cave d'un chien qui venait de succomber intoxiqué par 104 centimètres cubes d'hydrogène sulfuré qu'on avait introduit dans le sang par la veine jugulaire à l'état de dissolution. Nous avons fait passer ce sang, sans l'exposer à l'air, dans le récipient de la pompe où on avait fait le vide. Nous avons ensuite extrait les gaz de ce sang à la température de 100 degrés, et nous les avons recueillis dans une éprouvette contenant 2 centimètres cubes d'une dissolution d'acétate de plomb qui, quoique traversée par les gaz, est restée complètement incolore. Il est étonnant de voir que, bien que l'animal ait succombé sous l'action de l'hydrogène sulfuré, il n'y en a pas trace dans le sang à l'état de liberté.

Le 20 septembre nous avons fait respirer à un chien de forte taille un mélange à 1/500 d'hydrogène sulfuré ; il est de suite fortement éprouvé par le poison, il se produit presque immédiatement une forte dyspnée, et après deux minutes une syncope respiratoire assez prolongée. Nous avons pris pendant cette syncope, par l'artère fémorale disposée d'avance à cet effet, 26 centimètres cubes de sang que nous avons introduit de suite, et sans le mettre en contact avec l'air, dans le récipient vide de l'appareil à l'extraction des gaz. L'extraction a été faite à la température de 80 degrés, il n'y a pas eu trace de gaz sulfhydrique. Nous avons ensuite fait pénétrer dans le récipient où se trouvait le sang un peu d'acide chlorhydrique pur, et nous avons extrait de nouveau les gaz qui se sont dégagés à la faveur de cet acide ; nous avons eu encore 2 centimètres cubes de gaz, pas du tout d'hydrogène sulfuré. Dans l'expérience qui précède, l'animal a respiré le mélange sulfuré pendant un temps très court, et

l'absence du toxique dans le sang pourrait bien être attribuée au peu de gaz sulfuré qui a dû être absorbé par l'animal. Aussi pour nous placer dans de meilleures conditions nous avons fait dans la suite des mélanges moins concentrés, afin qu'ils pussent être respirés plus longtemps, et que l'animal en expérience pût absorber ainsi une plus forte dose du poison que nous recherchons.

Le lendemain nous avons fait respirer, à cet effet, à un chien pesant 12^{kil},500, d'abord un mélange à 1/800 pendant trente-trois minutes; il n'a éprouvé pendant ce laps de temps que de faibles troubles respiratoires. Puis nous avons substitué rapidement à ce premier mélange un autre beaucoup plus concentré, à 1/400, que nous avions préparé à l'avance. Aussitôt que l'animal respire dans ce second milieu, il éprouve de la dyspnée et des syncopes respiratoires de plus en plus prolongées.

Après onze minutes de ce nouveau traitement, le chien paraît épuisé, il y a menace de mort, aussi nous empressons-nous de lui prendre, au moyen d'une seringue, 84 centimètres cubes de sang artériel (carotide). Il est introduit directement et le plus vite possible, dans le récipient de la pompe à mercure, pour en extraire les gaz. Nous chauffons à 40° et nous extrayons jusqu'au vide. Nous avons recueilli 46 centimètres cubes de gaz que nous avons traité de suite par une dissolution de sel de plomb, qui est restée incolore.

Nous avons traité ensuite ce sang dans le récipient même par de l'acide chlorhydrique pur et concentré, et nous avons chauffé à 80°. Une nouvelle extraction nous a donné 6 centimètres cubes de gaz. Nous avons fait passer dans l'éprouvette 2 centimètres cubes de la dissolution de sel de plomb, et nous avons aperçu alors une légère coloration se produire dans ce liquide. Il y a donc des traces d'hydrogène sulfuré, mais la quantité en est excessivement faible.

Toutefois nous devons faire remarquer que nous avons éprouvé là une difficulté opératoire assez grave pour nous

faire éprouver des doutes sur la provenance de la coloration que nous avons observée dans le sel de plomb. En effet, l'introduction du sang dans l'appareil le salit et, lorsqu'ensuite on extrait les gaz, il est difficile d'éviter au-dessus du mercure, dans l'éprouvette où on les recueille, la présence d'un liquide coloré, sanguinolent, qu'on peut confondre avec la coloration que produisent de faibles quantités d'hydrogène sulfuré en présence d'une dissolution d'un sel de plomb.

Pour tourner la difficulté, nous avons, dans les expériences ultérieures analogues à celles-ci, changé le mode d'introduction du sang dans l'appareil.

Nous avons pris à cet effet pour récipient un ballon tubulé; après avoir fait le vide on introduit le sang par la tubulure, au moyen d'un tube de caoutchouc à parois épaisses muni de deux robinets de verre, fermés hydrauliquement pour plus de sûreté. De cette façon la pompe à mercure reste propre, et la recherche de l'hydrogène sulfuré est dans ces conditions bien plus facile; la moindre trace de sulfure de plomb se manifestera dans la dissolution limpide du sel de plomb qui se trouve dans l'éprouvette où se rendent les gaz.

Cette modification décrite, continuons l'exposé de nos expériences sur le sujet qui nous occupe.

Après avoir fait respirer à un chien de taille moyenne un mélange à 1/500 pendant vingt minutes, nous lui avons pris, par la veine jugulaire, 81 centimètres cubes de sang, que nous avons introduit dans le récipient de la pompe à mercure par le procédé que nous venons d'indiquer. Nous avons extrait les gaz à 40° et nous les avons recueillis dans une éprouvette renfermant 2 centimètres cubes d'une dissolution d'acétate de plomb. Il n'y a pas eu trace de coloration. Nous n'avons donc pas encore là d'hydrogène sulfuré libre. Nous avons ensuite fait passer dans le récipient où se trouve le sang, de l'acide chlorhydrique pur et concentré, et nous avons porté la température à 100°; nous avons de nouveau extrait les gaz, et cette fois la dissolution du sel de plomb

dans l'éprouvette a pris une coloration très prononcée : il n'y a plus de doute, c'est bien du sulfure de plomb qui s'est formé. De cette expérience nous concluons que tout l'hydrogène sulfuré que nous avons trouvé dans ce sang était à l'état de combinaison détruite par l'acide chlorhydrique.

Le 26 octobre nous avons fait respirer à un chien de forte taille un mélange à 1/1000 pendant une heure ; puis à ce mélange nous en avons substitué un autre à 1/500 ; après deux minutes de ce nouveau traitement il y avait menace de mort. Nous avons pris à ce moment 26 centimètres cubes de sang par la veine jugulaire dont nous avons extrait les gaz jusqu'au vide ; il ne s'est pas manifesté trace d'hydrogène sulfuré. Nous avons traité ensuite par l'acide chlorhydrique et, comme dans l'expérience précédente, nous avons eu de faibles quantités d'hydrogène sulfuré, mais incontestables.

Dans une autre expérience nous avons fait respirer à un chien, d'abord un mélange à 1/500 pendant vingt-deux minutes ; puis, nous avons substitué à ce premier mélange un autre beaucoup plus toxique, le gaz sulfhydrique y était à forte dose. Il s'est manifesté de suite des phénomènes graves d'empoisonnement, des troubles respiratoires profonds, des syncopes prolongées ; trois minutes après, l'animal ne respirait qu'à de longs intervalles. Nous avons pris à ce moment par l'artère fémorale, préparée à cet effet, quatre seringues de sang de 25 centimètres cubes chacune.

Nous avons introduit ce sang de suite dans l'appareil à extraction, sans l'avoir mis en contact avec l'air. Au moment où nous avons pris la dernière seringue de sang, l'animal ne respirait plus, mais le cœur battait encore. Nous avons extrait les gaz de suite à la température de 40° ; nous les avons recueillis dans une éprouvette renfermant 2 centimètres cubes d'une dissolution de sel de plomb. Dès les premières bulles de gaz, le sel de plomb a noirci, et à la fin de l'extraction il avait pris une teinte très foncée ; les parois de l'éprouvette étaient également noircies par le sulfure de plomb. Une fois

le vide obtenu, le sang ne donnant plus trace de gaz, nous l'avons traité par de l'acide chlorhydrique pur et concentré. Nous avons ensuite extrait les gaz à 50°, et nous les avons recueillis dans une nouvelle éprouvette renfermant une dissolution limpide de sel de plomb; là encore nous avons eu de l'hydrogène sulfuré et en bien plus grande quantité que dans l'extraction précédente; non seulement le sel de plomb s'est fortement coloré comme précédemment, mais encore il s'est formé dans le sel de plomb un précipité pulvérulent très prononcé.

De ceci nous concluons que dans ce sang intoxiqué il y avait de l'hydrogène sulfuré à l'état de dissolution, libre, qu'il y en avait aussi et en plus grande quantité à l'état de combinaison. La présence de ce gaz à l'état de dissolution doit tenir à la forte tension relative qu'il y avait dans le mélange toxique qui a été respiré par l'animal en dernier lieu. Jusqu'à présent nous n'avons eu, en effet, rien de semblable. Nous remarquerons aussi, en comparant le résultat de cette expérience à ceux des deux précédentes, que le sang artériel renferme plus de gaz sulfuré que le sang veineux, ce qui nous prouve une fois de plus que ce gaz se fixe sur les éléments anatomiques.

Voici encore une expérience qui confirme parfaitement la précédente : immédiatement après avoir fait respirer à un chien de forte taille un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré à 1/500 pendant un quart d'heure, nous lui avons pris en même temps 50 grammes de sang par la veine jugulaire et autant par l'artère fémorale, pendant que l'animal respirait encore le mélange. Nous avons ensuite extrait les gaz de ces deux échantillons de sang à la température de 40°. Nous n'avons pas trouvé trace d'hydrogène sulfuré ni dans l'un ni dans l'autre. Puis nous avons traité par l'acide chlorhydrique pur et concentré, et nous avons extrait de nouveau les gaz en élevant la température à 80°; de part et d'autre, nous avons vu se former du sulfure de plomb, et nous avons constaté encore que du côté du sang artériel la coloration était

bien plus prononcée ; pourtant les quantités d'hydrogène sulfuré sont trop faibles pour être mesurées.

Résumant toutes les expériences que nous venons de décrire, nous pouvons dire qu'en général, lorsqu'un animal est mort empoisonné par l'hydrogène sulfuré, nous ne trouvons pas ce gaz dans le sang à l'état de liberté ; mais que presque toujours nous en avons trouvé en petite quantité, après l'avoir traité par l'acide chlorhydrique. Ce qui nous indique que ce gaz serait combiné.

Nous ne nous sommes pas contenté, pour la recherche de l'hydrogène sulfuré dans l'organisme d'un animal intoxiqué, des expériences que nous venons faire connaître. Parallèlement à celles-ci nous en avons fait un certain nombre d'autres dans lesquelles nous nous sommes occupé, non seulement du sang, mais encore des muscles et du cerveau.

Nous avons fait respirer à un chien, pendant une demi-heure, un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré à 1/700, puis nous avons substitué à ce premier mélange un second beaucoup plus concentré, à 1/200, qui a produit immédiatement une première syncope respiratoire suivie de profondes inspirations, puis de nouvelles syncopes de plus en plus prolongées ; enfin l'arrêt complet de la respiration et des battements du cœur, après onze minutes de ce traitement. Et, soit dit en passant, nous avons été fort étonné de voir l'animal résister aussi longtemps à un mélange aussi toxique ; il semble qu'il y a un phénomène d'accoutumance que nous avons du reste constaté plusieurs fois dans le cours de nos recherches.

Aussitôt après la mort de l'animal, nous lui avons pris 85 grammes de sang, 80 grammes de muscles et le cerveau pesant 80 grammes. Nous avons placé dans des bocaux différents le sang, le muscle et le cerveau, auxquels nous avons ajouté 150 grammes d'une dissolution de potasse marquant 20 degrés à l'aréomètre Baumé.

Trois jours après, le cerveau et le muscle étaient complètement dissous dans la solution de potasse. Nous avons alors

pris le contenu de ces trois flacons, que nous avons placé dans trois ballons de verre que nous avons chauffés au bain-marie jusqu'à la température de 100 degrés. Nous avons ensuite versé par un tube à entonnoir qui traversait un bouchon de caoutchouc assez d'acide chlorhydrique pur et concentré pour neutraliser la potasse d'abord, puis nous en avons ajouté un excès. Nous avons ensuite fait passer un courant d'air dans le liquide du ballon, qui, après barbotage, se rendait dans un flacon laveur contenant une dissolution d'acétate de plomb; pour plus d'exactitude, nous avons mouillé de cette dissolution le tube abducteur qui faisait communiquer le ballon avec le flacon laveur. De cette façon la moindre trace d'hydrogène sulfuré devait se manifester.

Le sang nous a donné de grandes quantités de gaz sulfhydrique, le tube abducteur et la dissolution du laveur ont pris une coloration d'un noir foncé. Le cerveau nous a donné aussi de l'hydrogène sulfuré, mais en moins grande quantité; le sel de plomb du barboteur est demeuré presque incolore, mais le tube abducteur était complètement noir. Le muscle ne nous a pas donné trace de sulfure de plomb.

Quelques jours après, nous avons répété les mêmes expériences en prenant le sang, le cerveau et le muscle d'un chien non intoxiqué, tué par hémorrhagie, et nous avons traité ces substances comme les précédentes, les laissant en contact avec la potasse le même laps de temps; toutes les trois nous ont donné de l'hydrogène sulfuré. Donc de nos premières expériences nous ne pouvons rien conclure pour la recherche du toxique. L'hydrogène sulfuré que nous avons trouvé dans ce second cas doit provenir des matières albuminoïdes en décomposition.

Comme nous attachons une grande importance à la recherche de l'hydrogène sulfuré dans l'organisme d'un animal intoxiqué, au point de vue de la médecine légale, nous avons renouvelé ces expériences en les variant un peu et en prenant de la potasse pure, ce que nous n'avions pas fait dans le premier cas.

Nous avons pris 75 centimètres cubes de sang à un chien bien portant, nous l'avons traité de suite, dans un ballon chauffé au bain-marie, par de l'acide chlorhydrique pur, et nous avons précédemment fait passer un courant d'air qui, après avoir barboté dans le sang, se rendait dans une dissolution de sel de plomb. Dans ces conditions, nous n'avons pas eu de trace d'hydrogène sulfuré. Nous avons ensuite pris au même animal encore 75 centimètres cubes de sang auquel nous avons ajouté de la potasse pure et de l'eau distillée, et ensuite nous avons traité par de l'acide chlorhydrique et par un courant d'air. Là encore nous n'avons pas eu trace d'hydrogène sulfuré. De ceci nous concluons que le sang frais et non intoxiqué ne contient pas de gaz sulfhydrique, ni libre ni combiné.

Le procédé que nous venons de décrire nous paraissant trop imparfait, nous nous sommes servi dans la suite, pour le cerveau comme pour le sang, de la pompe à mercure, en prenant comme récipient l'allonge qui nous a servi pour l'extraction des gaz des feuilles; de cette façon l'introduction des matières cérébrales est assez facile tandis qu'elle serait impraticable avec le récipient ordinaire.

Nous avons fait respirer à un chien un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré à 1/100, il est mort après vingt minutes de traitement. Nous avons enlevé de suite le cerveau de l'animal, nous l'avons essuyé avec soin avec du papier buvard, puis, après l'avoir haché avec un instrument très propre et sur une planche neuve, nous l'avons introduit dans le récipient de la pompe avec 100 centimètres cubes d'eau distillée; nous avons fermé l'appareil, et ensuite nous avons fait le vide, en ayant soin de faire traverser aux gaz que nous extrayions de l'appareil une dissolution d'un sel de plomb. Nous avons poussé l'extraction jusqu'au vide absolu, sans avoir trouvé la moindre trace d'hydrogène sulfuré. Nous avons ensuite introduit dans l'appareil, par le jeu de la pompe, de l'acide chlorhydrique pur, puis nous avons extrait les gaz de nouveau, en les recueillant cette fois dans une éprouvette

renfermant 2 centimètres cubes d'une dissolution d'acétate de plomb. Le premier coup de pompe a produit dans l'éprouvette une coloration très manifeste qui s'est accentuée de plus en plus. Il y a donc, dans le cerveau intoxiqué, de l'hydrogène sulfuré à l'état de combinaison, qu'on met en liberté par l'acide chlorhydrique.

Le 9 avril, nous avons renouvelé une expérience identique à la précédente, en traitant de la même façon le cerveau d'un chien qui venait de succomber après avoir respiré un mélange à 1/300° d'hydrogène sulfuré; nous avons eu soin préalablement de bien nettoyer l'appareil avec de l'acide chlorhydrique, afin de détruire les sulfures provenant de matières étrangères et en chasser l'acide sulfhydrique qui eût été une cause d'erreur. Comme dans le cas précédent, nous n'avons obtenu de l'hydrogène sulfuré qu'après avoir traité le cerveau par de l'acide chlorhydrique pur. Le sulfure de plomb, qui s'est formé dans l'éprouvette, a été très abondant. Après avoir trouvé de l'acide sulfhydrique dans le cerveau intoxiqué, une expérience contradictoire avec un cerveau non intoxiqué était indispensable. A cet effet, nous avons pris le cerveau d'un chien mort par hémorrhagie, que nous avons rigoureusement traité comme le précédent. A notre grand désappointement, nous avons encore constaté, dans les gaz extraits après addition d'acide chlorhydrique, de faibles quantités d'hydrogène sulfuré. Quantités bien plus faibles que dans les cas précédents, car nous n'avons eu que des traces, mais indiscutables. Nous pensons que ce gaz doit provenir, dans ce cas, des matières organiques étrangères que nous n'avons pu, malgré les précautions que nous avons prises, enlever complètement; l'expérience devrait être faite avec un appareil complètement neuf, ce que nous n'avons pu réaliser.

A la suite de ces résultats, nous avons aussi essayé le sang normal par le même procédé, en prenant les précautions les plus minutieuses pour éviter les causes d'erreur; l'appareil a été nettoyé avec le plus grand soin et le sang a été pris à un chien parfaitement sain; il a été introduit directement dans

le récipient, comme il a été dit plus haut, sans passer par la pompe. Les gaz ont été recueillis sur du mercure très propre, dans une éprouvette contenant 2 centimètres cubes d'une dissolution limpide d'un sel de plomb. L'extraction des gaz poussée jusqu'au vide ne nous a pas donné trace d'hydrogène sulfuré, même après avoir traité le sang par de l'acide chlorhydrique. Plusieurs autres expériences, dans lesquelles nous n'avions pas pris toutes les précautions que nous venons de décrire, nous avaient donné, avec le sang normal, de faibles quantités d'hydrogène sulfuré. Pour faire la contre-épreuve de l'expérience précédente, nous avons introduit, dans le récipient où se trouvait le sang, 1 centimètre cube d'une dissolution d'acide sulfhydrique assez concentrée, que nous avons délayée dans 10 centimètres cubes d'eau distillée; nous avons extrait les gaz une deuxième fois, et aussitôt nous avons obtenu, dans l'éprouvette, un précipité abondant de sulfure de plomb.

Résumé. — De tout ce que nous venons de voir, il résulte que nous avons toujours trouvé de l'hydrogène sulfuré à l'état de combinaison, dans le sang d'un animal mort sous l'action de ce poison, lorsque nous avons employé la méthode de la pompe à mercure, qui est de beaucoup plus rigoureuse que toutes les autres que nous avons employées. Par contre, nous pouvons dire que ce gaz ne se trouve pas dans le sang normal lorsqu'il est frais, et chaque fois que nous en avons trouvé dans ces conditions, il doit être attribué à des matières organiques qui se trouvent dans l'appareil, telles que des matières organiques en putréfaction provenant d'expériences antérieures.

Il n'en est plus de même lorsque le sang a séjourné au contact de l'air; une heure ou deux peuvent suffire pour amener un commencement de putréfaction de matières albuminoïdes qui produisent généralement de l'hydrogène sulfuré, c'est ce que nous avons observé dans beaucoup de cas.

Puisque nous ne retrouvons dans l'organisme d'un animal intoxiqué que de faibles quantités de gaz sulfhydrique, nous

nous sommes demandé si ce corps ne se transformerait pas en sulfate sous l'influence des propriétés oxydantes du sang. Nous voulions même, le cas échéant, en constituer une preuve de la présence de l'ozone dans le sang qui, comme on le sait, jouit de la propriété de transformer les sulfures en sulfates. A cet effet, nous avons entrepris un certain nombre d'expériences qui, malheureusement, ne nous ont donné aucun résultat satisfaisant.

L'insuccès que nous avons éprouvé tient, d'une part, à la faible quantité de sulfates qui se trouvent dans le sang normal; en effet, il y en a environ 0^{gr},413 (1) pour 1 litre de globules et 1 litre de plasma; d'autre part, au faible poids d'hydrogène sulfuré nécessaire pour tuer un animal : nous savons que quelques centimètres cubes suffisent parfois pour amener rapidement la mort.

Notre méthode consistait à traiter comparativement des quantités égales de sang normal et de sang intoxiqué par un même volume d'alcool; on agitait et on laissait digérer pendant deux ou trois jours, puis le liquide était exprimé au moyen d'une presse et ensuite traité par de l'azotate de baryte, qui donnait, avec les sulfates dissous dans l'alcool, un précipité de sulfate de baryte qu'on filtrait sur des filtres de même poids, après dessiccation. Le précipité était desséché avec soin pendant vingt-quatre heures dans une étuve, puis à la température ordinaire sous une cloche renfermant de l'acide sulfurique, dans le sang normal comme dans le sang intoxiqué, qui, quoique pesés avec beaucoup de soin, ne nous ont pas donné de résultats concordants. Pourtant, nous avons remarqué que, généralement, les deux précipités n'avaient pas le même aspect, celui qui était fourni par le sang intoxiqué était jaunâtre, pulvérulent, tandis que celui du sang normal était blanc et cristallin. Comme l'alcool un peu concentré ne dissout les sulfates qu'assez faiblement, nous avons fait aussi la recherche de ces substances dans le tourteau, après inciné-

(1) *Traité de physiologie*, par J. Béclard, p. 416.

ration, mais là encore nous avons eu des déceptions. En résumé, nous ne pouvons pas affirmer et nous ne pouvons pas nier la transformation en sulfates de l'hydrogène sulfuré dans l'organisme.

Nous venons de voir, dans ce qui précède, que dans le sang d'un animal intoxiqué, l'hydrogène sulfuré se trouve à l'état de combinaison. Nous avons voulu voir si, en dehors de l'organisme, le sang pourrait aussi fixer ce gaz, et à cet effet nous avons réalisé les expériences que nous allons décrire.

Nous avons fait dissoudre, dans 15 centimètres cubes de sang pris à un animal sain, 12 centimètres cubes d'hydrogène sulfuré. Nous avons ensuite introduit ce sang dans le récipient de la pompe à mercure, et nous avons extrait les gaz à 40°; puis nous avons traité ce sang dans l'appareil même par de l'acide chlorhydrique pur, et nous avons extrait à nouveau les gaz; dans la deuxième extraction comme dans la première nous avons trouvé de l'acide sulfhydrique; nous en avons conclu que le gaz sulfuré se trouvait en partie à l'état de dissolution et en partie combiné.

Après cet aperçu, nous avons cherché à déterminer la proportion de gaz fixée par le sang, et pour plus d'exactitude nous nous sommes débarrassé au préalable de l'acide carbonique contenu dans le sang, par une première extraction. Sans cette précaution on s'exposait, en voulant doser l'acide sulfhydrique par la dissolution d'acétate de plomb, à dissoudre aussi une partie d'acide carbonique, ce qui eût été une cause d'erreur assez considérable.

Nous avons pris 180 centimètres cubes de sang à un chien; nous l'avons défibriné, puis nous avons extrait les gaz de ce sang, sans les recueillir, uniquement pour nous débarrasser de l'acide carbonique. Nous avons pris ensuite 27 centimètres cubes de ce sang dans lequel nous avons fait dissoudre 23 centimètres cubes d'hydrogène sulfuré. Nous l'avons rapidement introduit dans l'appareil et nous avons extrait les gaz à 50°, en ayant soin de les recueillir. L'analyse par le sel de plomb nous a appris qu'il y avait 14^{cc}6 d'hydrogène sulfuré. Si nous

retranchons ces 14^{cc}6, de 23 centimètres cubes que le sang avait absorbé, nous verrons qu'il y a eu 9^{cc}4 de gaz combiné aux éléments du sang, ce qui fait 34^{cc}8 pour 100 par rapport au volume du sang.

Dans une autre expérience nous avons fait dissoudre 22 centimètres cubes d'hydrogène sulfuré dans 20 centimètres cubes de sang; l'extraction et l'analyse des gaz nous ont appris qu'il y en avait 6^{cc}9 d'absorbé par les aliments, ce qui fait 34 pour 100. Il est curieux de trouver à peu près la même proportion que dans le cas précédent.

Puisque nous venons de voir le sang fixer sur ses éléments 34 pour 100 d'hydrogène sulfuré, nous avons voulu nous assurer d'après cela si, en agitant du sang avec une quantité de ce gaz inférieure à 34 pour 100, il serait complètement fixé. A cet effet nous avons pris à un chien 100 centimètres cubes de sang dont nous avons extrait les gaz, puis nous avons agité avec de l'oxygène; lorsqu'il a eu repris la couleur rouge du sang artériel, nous avons fait absorber à 31^{cc},2 de ce sang 7^{cc},8 d'hydrogène sulfuré, puis nous avons extrait de nouveau les gaz: nous avons trouvé 1^{cc},2 d'hydrogène sulfuré; il n'en restait donc plus dans le sang que 6^{cc},6, ce qui fait 21 p. 100 au lieu de 34 que nous avions trouvés dans les expériences précédentes.

Il semblerait encore, d'après cela, que la quantité du gaz toxique qui se fixe dépend de la tension qu'il possède en présence du sang.

Enfin dans une dernière expérience nous avons trouvé que 15^{cc},8 de sang défibriné traité par 15 centimètres cubes d'hydrogène sulfuré avait absorbé 20 p. 100 de ce gaz.

Résumé. — Nous saurons maintenant que lorsqu'on agite du sang (*in vitro*) avec de l'hydrogène sulfuré, il se produit non seulement une dissolution, mais encore une combinaison. Nous venons de voir, en effet, que l'aspect du sang est complètement changé; il devient noir, ce qui est l'indice d'une transformation; en outre, lorsque nous extrayons les gaz jusqu'au vide, nous n'enlevons qu'une partie du gaz sulfuré qui

s'y était dissous ; le reste doit être à l'état de combinaison dont nous n'avons pas encore déterminé la nature. Il n'y a donc rien d'étonnant d'admettre que chez l'animal vivant ce phénomène de fixation puisse se produire. Mais là, la quantité de ce gaz que nous introduisons dans l'organisme est si faible que l'aspect du sang n'est pas modifié : le sang artériel reste rouge vermeil et le sang veineux conserve sa couleur normale. A cela il n'y a rien de surprenant, car nous avons vu que la plus forte dose de ce gaz que nous ayons pu introduire dans l'organisme avant la mort d'un animal est de 124 centimètres cubes. Or une faible partie de ce gaz a été rejetée par les poumons pendant l'expérience. D'autre part, nous avons vu aussi que le sang ne conserve pas à lui seul ce qui est resté dans le corps de l'animal, puisque les autres éléments, ainsi que nous l'avons vu pour le cerveau, en fixent aussi. En somme le sang doit en conserver une bien faible quantité ; de là la couleur normale que nous lui avons toujours vue : couleur qu'il ne conserverait probablement pas si nous pouvions introduire dans le sang avant la mort de l'animal une dose analogue à celle que nous lui faisons absorber *in vitro*. Du reste, c'est ce qui a lieu pour les grenouilles, ces animaux étant bien moins sensibles à l'action toxique de ce corps en ont absorbé avant la mort une forte dose ; leur sang était complètement noir et profondément modifié.

CHAPITRE V

RECHERCHES SUR LE MÉCANISME DE L'EMPOISONNEMENT

Qu'on fasse respirer à un animal un mélange toxique d'air et d'hydrogène sulfuré, qu'on mette ce gaz en contact avec différentes surfaces capables de l'absorber ; ou bien encore qu'on injecte dans le sang le gaz sulfuré pur ou à l'état de dissolution, l'intoxication se traduit toujours par des troubles respiratoires plus ou moins profonds selon le degré de l'intoxication.

Nous en concluons donc de prime abord que ce poison agit sur les centres respiratoires et que les désordres qu'il occasionne dans ces fonctions importantes peuvent amener la mort. Pourtant nous sommes loin d'affirmer, comme l'ont fait certains observateurs, que ce soit là toujours le vrai mécanisme de l'action toxique de ce gaz. Cette action existe certainement, mais elle n'agit pas seule sur l'organisme dans l'arrêt des phénomènes vitaux. S'il en était ainsi, comme le prétend notre savant contradicteur, M. Laborde, un animal chez lequel on entretiendrait la respiration artificielle devrait résister à l'action toxique de cet agent. Or l'expérimentation nous a prouvé qu'il n'en est rien, ainsi qu'on va le voir.

Nous persistons donc à dire, comme nous l'avons fait dans notre communication du 26 février 1886, à la Société de biologie, que le mécanisme de l'action toxique et physiologique de l'hydrogène sulfuré n'est pas complètement connu.

On va voir, d'après les expériences que nous allons décrire, que nos affirmations sont pleinement justifiées.

Les premiers essais que nous avons faits sont relatifs à l'influence de la respiration artificielle sur un animal intoxiqué, pratique qui est souvent avantageuse, mais elle est loin d'être infaillible.

Le 10 décembre nous avons fait respirer à un chien pesant 10 kilog. et trachéotomisé un mélange à $1/500$. La respiration naturelle était remplacée par la respiration artificielle faite au moyen de l'appareil de Gréhant mu par une machine hydraulique. Après sept minutes de traitement il se produit de la dyspnée, l'animal fait des efforts respiratoires qui contrarient les mouvements du soufflet. Lorsqu'on accélère les mouvements du soufflet, cette dyspnée semble diminuer un peu. L'animal respire ainsi vingt minutes sans succomber, mais cela n'a rien d'étonnant, puisque nous avons vu des chiens résister plus longtemps à ce mélange toxique sans qu'on ait pratiqué la respiration artificielle. Nous avons fait ensuite un mélange foudroyant à $1/200$ que nous avons fait respirer à l'animal directement sans l'intermédiaire du soufflet. Après quatre secondes de cette épreuve, il se produit une dyspnée très forte : une minute s'est à peine écoulée que la respiration est complètement arrêtée, la cornée est insensible; mais le cœur bat toujours. Trente secondes après l'arrêt de la respiration, nous faisons respirer artificiellement l'animal dans l'air.

Bientôt de légers mouvements convulsifs se produisent dans les membres antérieurs. La cornée redevient sensible après six minutes de respiration artificielle. Puis, de profondes et bruyantes inspirations se produisent, analogues à celles qui avaient lieu avant la syncope. Enfin, après quatorze minutes de respiration artificielle, l'animal peut respirer de lui-même, les mouvements respiratoires se régularisent et deviennent bientôt normaux.

Une demi-heure après, lorsque le chien semble suffisamment remis, nous lui faisons respirer de nouveau le mélange foudroyant; une minute après, cessation de tous les mouvements respiratoires, extension des pattes postérieures,

raideur tétanique de ces membres; les battements du cœur s'affaiblissent. Trente-cinq secondes après l'arrêt des mouvements respiratoires, on pratique la respiration artificielle; cinq minutes après, la cornée redevient sensible; la respiration se rétablit péniblement par de profondes et bruyantes respirations, la raideur tétanique des membres postérieurs cesse, l'animal les fléchit convulsivement. Après huit minutes de respiration artificielle, il peut respirer de lui-même et sa respiration devient rapidement normale. Après une demi-heure de repos, nous lui faisons respirer une troisième fois le mélange foudroyant à 1/200. La respiration s'arrête après une minute de traitement; on le laisse ainsi sans respirer l'espace de deux minutes, puis on pratique encore la respiration artificielle, le cœur bat faiblement. Douze minutes après seulement, les mouvements respiratoires thoraciques se manifestent; les mouvements du cœur s'accélèrent : la vie revient.

Dix-sept minutes après le commencement de la respiration artificielle, des mouvements faibles et fébriles succèdent à la raideur tétanique. La cornée est encore insensible; le cœur bat assez fort, et les battements tendent à se régulariser. La cornée ne redevient sensible qu'après vingt minutes de respiration artificielle. Enfin après vingt-quatre minutes il peut respirer de lui-même, faiblement d'abord, mais peu à peu cette respiration se régularise.

Il est remarquable de voir combien les fonctions vitales se sont rétablies cette fois lentement et péniblement. Enfin on lui fait respirer une dernière fois le mélange foudroyant; mais cette fois-ci l'animal résiste plus longtemps; ce n'est qu'après cinq minutes que les mouvements respiratoires cessent complètement. Abandonné à lui-même, le chien ne donne plus signe de vie. Cette résistance prolongée que nous venons de constater en dernier lieu doit être attribuée probablement à un phénomène d'accoutumance; un animal nouveau n'aurait pas résisté aussi longtemps à ce mélange foudroyant. Il y a lieu de se demander aussi

si cela ne tient pas aux fréquentes syncopes qu'a éprouvées l'animal, par suite desquelles la quantité de gaz toxique introduite dans l'organisme a été considérablement diminuée. En effet lorsque nous avons fait respirer le mélange en dernier lieu, la respiration n'était pas encore redevenue normale, de là, syncope immédiate suivie de beaucoup d'autres.

Le 12 décembre nous avons voulu voir si la respiration artificielle pourrait ramener à la vie un animal ne respirant plus depuis un laps de temps plus long. A cet effet, nous avons trachéotomisé un chien pesant 12^{ki} , 200, et nous lui avons fait respirer un mélange à 1/300. Il éprouva de suite des troubles respiratoires des plus graves; plusieurs syncopes. Après quatre minutes de traitement la respiration est complètement arrêtée; la cornée est insensible. On le laisse ainsi trois minutes, puis on pratique la respiration artificielle, mais inutilement, l'animal ne donne plus signe de vie; il est bien mort.

Nous voyons déjà que l'efficacité de la respiration artificielle a des limites très restreintes.

Le lendemain nous faisons respirer encore à un chien vigoureux, pesant 12 kilogrammes et trachéotomisé, un mélange foudroyant à 1/200; une minute après, la respiration est arrêtée, la cornée est insensible. On le laisse ainsi deux minutes, puis on pratique la respiration artificielle, mais en vain, la respiration naturelle n'a pu se rétablir. Au moment où nous avons pratiqué la respiration artificielle, il nous a été impossible de nous assurer si le cœur battait encore; si l'arrêt n'était pas complet, les battements cardiaques devaient être bien faibles.

Immédiatement après la mort de ce chien, nous avons pris un lapin, et après avoir pratiqué la trachéotomie, nous lui avons fait respirer le mélange à 1/200. Une minute après, la respiration était arrêtée, la cornée était insensible. On le laisse ainsi deux minutes, puis on pratique la respiration artificielle.

On voit que rapidement les mouvements thoraciques respiratoires se rétablissent. Quatre minutes après, la cornée redevient sensible ; il est rappelé à la vie. Le cœur n'a cessé de battre.

Une demi-heure après, alors qu'il est suffisamment remis, nous lui faisons respirer de nouveau le mélange toxique. Mêmes symptômes d'empoisonnement et arrêt de la respiration après une minute ; il allonge ses pattes et raidit les membres postérieurs ; la cornée est insensible. Vingt secondes après l'arrêt des mouvements respiratoires, le cœur battant toujours, nous avons pratiqué la respiration artificielle ; peu à peu la respiration naturelle se rétablit. Cinq minutes après, il respire de lui-même, mais faiblement. La cornée ne redevient sensible que huit minutes après.

Aussitôt que la respiration est redevenue régulière, nous lui avons fait respirer une troisième fois le mélange foudroyant. Mêmes phénomènes d'intoxication se produisent : arrêt des mouvements thoraciques après une minute de traitement ; on le laisse ainsi deux minutes sans respirer, puis on pratique de nouveau la respiration artificielle. Trois minutes après, la respiration naturelle se rétablit. Les mouvements respiratoires sont extrêmement exagérés ; comme nombre nous en avons compté 94 dans une minute.

Enfin nous lui faisons respirer une quatrième fois le mélange toxique. La respiration cesse après trois minutes de traitement. Respiration artificielle trois minutes après, mais l'animal est bien mort.

Les phénomènes que nous avons observés chez le chien se sont reproduits d'une façon tout à fait analogue chez le lapin. Ces expériences de rappel des mouvements respiratoires par la respiration artificielle sont tout à fait d'accord avec celles de M. Laborde ; c'est donc une bonne pratique de faire la respiration artificielle chez l'homme empoisonné par l'hydrogène sulfuré ; cependant cela n'est pas toujours efficace.

Impuissance de la respiration artificielle à conjurer la mort.

Voici maintenant des expériences qui nous prouvent que la respiration artificielle est impuissante à conjurer les effets mortels de l'introduction d'une certaine dose, dans l'organisme, d'hydrogène sulfuré, comme cela devrait avoir lieu si l'action toxique du gaz qui nous occupe s'exerçait à peu près exclusivement sur les centres respiratoires, comme quelques savants le pensent. Après avoir trachéotomisé un lapin et avoir disposé le soufflet à respiration artificielle, au moyen d'un système de trois soupapes métalliques à ressort, de façon à lui faire puiser directement le mélange toxique dans le sac qui le contient et à l'injecter ensuite dans les poumons de l'animal, nous avons d'abord essayé à blanc la régularité du fonctionnement de l'appareil pendant un quart d'heure ; puis nous avons mis en rapport le soufflet avec un ballon de caoutchouc, renfermant un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré à 1/200. Presque immédiatement, il s'est produit de la dyspnée ; trois minutes après, les mouvements respiratoires naturels ont cessé, le cœur ne bat plus, l'animal est bien mort, et pourtant la respiration artificielle n'a cessé de marcher très régulièrement depuis le début de l'expérience ; les parois thoraciques obéissent toujours à l'impulsion du soufflet. Nous continuons encore pendant un quart d'heure la respiration artificielle, mais l'animal n'a plus donné signe de vie. On ne peut pas dire qu'ici l'animal soit mort par suite d'un effet suspensif respiratoire.

Les résultats précédents, quoique très concluants, ne nous ont pas suffi ; nous avons voulu nous assurer que la mort du lapin n'était pas due à un accident expérimental, mais qu'elle était bien la conséquence de l'action toxique du gaz sulfuré.

Pour cela nous avons renouvelé avec un chien la même expérience qu'avec le lapin. Nous avons adopté le même dispositif, et nous avons ainsi fait respirer artificiellement à un

chien de taille moyenne un mélange à 1/300. L'animal a succombé après cinq minutes de traitement, malgré la respiration artificielle qui a toujours fonctionné régulièrement pendant tout le temps de l'expérimentation et que nous avons continuée encore pendant vingt minutes.

Nous pouvons donc affirmer, d'après cela, qu'un animal intoxiqué par l'hydrogène sulfuré ne meurt pas fatalement par suite de l'arrêt des mouvements respiratoires. Mais c'est dans le règne végétal que nous avons trouvé l'argument plus frappant en faveur de nos opinions.

Le samedi 27 mars 1886, nous avons fait trois lots de haricots de chacun vingt graines. Nous les désignerons pour plus de clarté par les lettres A, B, C; nous les avons placés séparément dans trois flacons de 1 litre, bouchés à l'émeri et renfermant : le flacon A, volumes égaux d'air et d'hydrogène sulfuré ; le flacon B, volumes égaux d'air et d'hydrogène ; enfin, le troisième flacon C ne renfermant que de l'air pur. Nous avons fait aussi trois lots de graines de cresson alénois (*Lepidium sativum*) que nous désignerons d'une façon analogue, par les lettres A', B', C' et renfermant des compositions gazeuses identiques aux précédentes :

A' volumes égaux d'air et d'hydrogène sulfuré ;

B' volumes égaux d'air et d'hydrogène ;

C' ne renfermant que de l'air pur.

Ces six flacons bien bouchés ont été laissés en observation dans une petite pièce, largement éclairée par une croisée. Quarante-huit heures après, nous avons constaté que les graines placées dans le flacon C' avaient produit des tigelles de 3 millimètres de longueur environ. Dans le flacon B' à air et hydrogène, il y a aussi des tigelles, mais en moins grand nombre, elles sont moins développées : la faible tension de l'oxygène doit être la cause de ce retard. Enfin dans le flacon A' à air et hydrogène sulfuré, il n'y a pas la moindre trace de développement, aucune n'a germé ; de plus, elles n'offrent pas le même aspect que celles qui sont en B' et en C'. Dans ces deux derniers flacons, elles ont conservé leur

teinte naturelle, tandis que dans A' elles ont une teinte beaucoup plus claire.

Les haricots se sont comportés d'une façon tout à fait analogue. La plus grande partie des graines du flacon A ont produit des tigelles d'un peu plus de 1 millimètre de long. Celles du flacon B se sont développées aussi, mais avec moins d'intensité, les tigelles ne sont pas encore sorties des téguments, mais ces derniers sont distendus et attestent un assez grand développement intérieur.

Le mardi 30 mars, c'est-à-dire après un séjour de soixante-douze heures, nous avons fait grossièrement l'analyse des gaz des flacons par rapport à l'oxygène : à cet effet, nous avons fait des prises de gaz dans ces flacons, sur la cuve à mercure avec des éprouvettes graduées, et nous avons trouvé :

Flacon A.....	8,6	p. 100 d'oxygène.
— B.....	6,5	— —
— A'.....	9,6	— —
— B'.....	9,2	— —

On voit que l'oxygène est loin d'être complètement épuisé dans les flacons A, B, A'B'; *a fortiori* en est-il ainsi des flacons C et C'. Donc si les graines n'ont pas germé dans A et A', ce n'est pas faute d'oxygène. Nous avons remarqué aussi que les haricots placés dans l'hydrogène sulfuré avaient une teinte bien différente des autres, ils étaient d'un vert foncé.

Pour nous assurer si la vie était bien éteinte dans les graines qui avaient subi l'influence de l'hydrogène sulfuré, nous avons semé dans des pots différents, avec du terreau, 30 graines des flacons A', B' et C'. De même, nous avons semé séparément 10 graines des flacons A, B et C. Pour les 20 graines qui se trouvaient dans le flacon C, 10 avaient à ce moment des tigelles de 2 à 12 millimètres de long et 10 autres dont les tigelles étaient encore sous les téguments distendus. Ce sont ces dernières que nous avons semées. De même pour le flacon B, nous avons pris pour les semer les

graines qui étaient le moins développées. Toutes les graines du cresson alénois des flacons B' et C' avaient des tigelles de 1 à 8 millimètres de long, lorsque nous les avons mises à terre. Celles des flacons A et A', pas la moindre trace de développement ; la vie semble avoir été éteinte très rapidement, elles sont restées comme on les avait mises, la couleur seule a changé. Le 30 avril, c'est-à-dire un mois après avoir semé les graines, nous avons constaté les résultats suivants :

Cresson alénois.	{ A' pas trace de végétation.			
	{ B' 22 graines sur 30 ont poussé des tiges avec deux feuilles.			
	{ C' 18 — — — —			
Haricots.....	{ A pas trace de végétation.			
	{ B 5 graines sur 10 ont poussé des tiges qui émergent du sol.			
	{ C 3 — — — —			

Le 7 mai, nous avons constaté les résultats suivants :

Cresson alénois.	{ A' pas trace de végétation.			
	{ B' 22 graines sur 30, plantes bien développées.			
	{ C' 18 — — — —			
Haricots.....	{ A pas trace de végétation.			
	{ B 7 graines sur 10, plantes bien développées, 4 feuilles.			
	{ C 9 — — — —			

Nous avons observé encore quelques jours les graines traitées par l'hydrogène sulfuré, mais aucune ne s'est développée, et lorsque nous les avons regardées de près, nous avons constaté qu'elles étaient complètement pourries.

Il est évident que si l'hydrogène sulfuré a détruit la vie dans des graines parfaitement saines, cela ne peut tenir qu'à une action tout à fait intime que ce gaz exerce sur le protoplasma cellulaire. Nous avons donc eu raison de dire que le mécanisme de l'action physiologique et toxique de l'hydrogène sulfuré est encore inconnu, et que si, sur les animaux que nous avons étudiés, ce gaz agit d'abord sur les centres respiratoires pour en modifier les fonctions plus ou moins profondément, il n'en est pas moins vrai qu'il est impossible de sauver l'animal, en maintenant artificiellement la régularité de ces fonctions, comme nous l'avons vu. C'est donc un

poison général pour les végétaux comme pour les animaux.

L'hydrogène sulfuré n'est pas un poison du sang. La croyance communément répandue qui considère l'hydrogène sulfuré comme un poison du sang est-elle pleinement justifiée? Nous ne le pensons pas ; mais voyons d'abord les expériences.

Après avoir fait respirer à un chien un mélange toxique à 1/500, nous lui avons pris, au moment de la première syncope, 26 centimètres cubes de sang par l'artère fémorale, puis nous avons extrait les gaz de ce sang, qui nous a donné :

	14 ^{cc} de gaz.
Après action de la potasse.....	5 ,5
Après l'action de l'acide pyrogallique.....	0 ,7
Oxygène.....	4 ^{cc} ,8 ou 18,5 p. 100.

Composition tout à fait normale.

Le 26 novembre, nous avons pris à un chien de forte taille 26 centimètres cubes de sang par l'artère carotide. L'extraction et l'analyse des gaz nous ont donné :

	12 ^{cc} ,9 de gaz.
Après KOHO.....	5 CO ₂ = 7 ^{cc} ,9.
Après acide pyrogallique.....	0 ,7
Oxygène.....	4 ^{cc} ,3 ou 16,5 p. 100.

Immédiatement après cette prise de sang nous avons fait respirer à ce chien un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré à 1/1000. Nous avons pensé qu'en prenant un mélange très peu toxique nous pourrions le faire respirer plus longtemps et que de cette façon l'animal en absorberait réellement une plus forte dose. Après une heure de ce traitement, pendant que le chien respirait encore le mélange, nous avons fait une nouvelle prise de 26 centimètres cubes de sang artériel dont nous avons extrait les gaz de suite sans l'avoir mis en contact avec l'air. Nous avons obtenu :

	16 ^{cc} de gaz.
Après KOHO.....	4 ,9 CO ^a = 11 ^{cc} ,1.
Après acide pyrogallique.....	0 ,7
Oxygène.....	4 ,1 ou 16,1 p. 100.

Nous voyons que la quantité d'oxygène que nous trouvons dans le sang après l'intoxication est à peu près la même qu'avant.

Après trois minutes de repos nous avons fait respirer au même animal un mélange à 1/500. Il s'est produit immédiatement une forte dyspnée, avec agitation violente, puis une syncope de 20 secondes. Nous avons pratiqué la respiration artificielle, l'animal est revenu complètement. Après une demi-heure de repos nous lui avons fait respirer de nouveau le mélange à 1/500 ; mais après deux minutes de traitement il s'est produit une syncope respiratoire pendant laquelle nous avons fait une nouvelle prise de sang artériel de 26 centimètres cubes dont nous avons extrait les gaz. Les résultats ont été tout à fait semblables aux précédents. Aussitôt que la prise de sang a été faite, nous avons pratiqué énergiquement la respiration artificielle, et la respiration naturelle s'est rétablie lentement ; sans cela, il est très probable que l'animal serait mort, et, d'après nos analyses des gaz du sang, on peut bien affirmer que ce n'est pas par axphyxie que ce chien aurait succombé.

Dans une autre expérience faite le 28 décembre, nous avons trouvé dans le sang artériel d'un animal intoxiqué 16,66 p. 100 d'oxygène, proportion encore semblable aux précédentes. Nous concluons donc de toutes ces expériences que la proportion d'oxygène dans le sang d'un animal intoxiqué reste normale : l'hydrogène sulfuré ne peut donc être considéré comme un poison du sang.

Pour pousser plus loin ces études et pour nous assurer que nous sommes bien dans le vrai, nous avons voulu voir si le sang a bien conservé sa capacité respiratoire que nous avons mesurée par le procédé de M. Gréhan. A cet effet nous avons pris à un chien bien portant 31^{cc},2 de sang artériel (artère

carotide, et nous en avons extrait les gaz; voici les résultats :

	20 ^{cc} ,7 de gaz.
Après KOHO.....	10 ,2
Après acide pyrogallique.....	1 ,8
Oxygène.....	8 ^{cc} ,4 ou 27 p. 100.

Aussitôt après cette prise de sang, nous lui avons fait respirer pendant 50 minutes un mélange à 1/800; ensuite nous avons substitué à ce mélange un autre beaucoup plus toxique à 1/200 : l'animal éprouve de suite une forte dyspnée, de l'agitation, et après 3 minutes de ce nouveau traitement une syncope respiratoire de 2 minutes, puis il revient peu à peu, mais péniblement; il respire toujours le mélange toxique. Il ne meurt qu'après 25 minutes. Ici, le phénomène d'accoutumance est manifeste.

Aussitôt après la mort, on prend par la veine jugulaire, au moyen d'une sonde qui descend jusque dans la veine cave inférieure, 550 grammes de sang. Après l'avoir défibriné on prend 30^{gr},4 de ce sang qu'on agite longuement à l'air pour déterminer l'absorption de l'oxygène; après qu'il a eu repris la coloration du sang artériel, nous l'avons introduit dans le récipient de la pompe à mercure pour en extraire les gaz. Nous avons eu :

	13 ^{cc} ,8 de gaz.
Après KOHO.....	9 ,5
Après acide pyrogallique.....	1 .
Oxygène.....	8 ^{cc} ,5 ou 27,8 p.100.

Proportion qui est même un peu plus forte que celle que nous avons trouvée dans le sang normal. Nous avons donc le droit de conclure que le sang d'un animal intoxiqué par l'hydrogène sulfuré possède toujours la même capacité respiratoire.

L'expérience est des plus concluantes; pourtant nous avons voulu la répéter encore pour que le doute ne fût plus permis.

Le 18 janvier nous avons fait une prise de sang artériel (artère carotide) de 20^{cc},8 sur un chien robuste du poids de 13^k,200; nous avons de suite extrait les gaz et nous avons eu :

	14 ^{cc} ,3 de sang.
Après KOHO.....	7 ,6 CO ^a = 7.
Après acide pyrogallique.....	4 ,9
Oxygène.....	5 ^{cc} ,7 ou 27,5 p. 100.

Ensuite nous avons fait respirer à ce chien un mélange à 1/800 pendant une heure; après ce traitement nous avons substitué à ce mélange un autre à 1/200; l'animal a éprouvé de suite de graves désordres respiratoires, il a succombé après 10 minutes de respiration dans ce dernier milieu. De suite après la mort nous avons fait une nouvelle prise de 200 grammes; après l'avoir défibriné, nous en avons pris 20 centimètres cubes, et nous en avons extrait les gaz; nous avons trouvé :

	10 ^{cc} de gaz.
Après KOHO.....	6 ,9
Après acide pyrogallique.....	1 ,3
Oxygène.....	5 ^{cc} ,8 ou 28 p. 100.

Cette expérience fournit des résultats identiques à ceux de la précédente et nous confirme dans l'idée que l'hydrogène sulfuré ne diminue en rien la capacité respiratoire du sang : donc il n'agit pas à la façon de l'oxyde de carbone, ainsi que le prétendent plusieurs auteurs. Il est donc bien évident, d'après ce que nous venons de voir, que les animaux qui ont succombé dans nos expériences sous l'influence des effets toxiques de l'acide sulfhydrique ne sont pas morts par le manque d'oxygène. Du reste nous avons maintes fois constaté, dans le cours de nos recherches, la couleur vermeille du sang artériel d'un animal intoxiqué. Il y a loin de là aux opinions émises dans plusieurs ouvrages de toxicologie ou de thérapeutique, qui affirment que l'hydrogène sulfuré est un poison du sang analogue à l'oxyde de carbone, qu'il s'empare de l'hé-

moglobine au détriment de l'oxygène, que les tissus et le sang d'un animal intoxiqué sont noirs, etc.... Ce sont autant d'idées absolument erronées, ainsi que nous l'ont prouvé de nombreuses expériences.

Production de l'acide carbonique chez un animal intoxiqué.

La production de l'acide carbonique chez un animal intoxiqué par l'hydrogène sulfuré est-elle modifiée? Telle est la question que nous nous sommes posée; les expériences nous donneront la réponse.

A cet effet, on recueillait d'abord dans des ballons de caoutchouc préalablement vidés à la trompe 25 ou 50 litres d'air expiré par un chien, puis, de suite après, nous lui faisons respirer un mélange toxique d'air et d'hydrogène sulfuré, jusqu'à l'apparition de symptômes graves d'empoisonnement. Immédiatement après ce traitement on recueillait de nouveau une même quantité de gaz expiré par l'animal. On dosait ensuite la quantité d'acide carbonique qui se trouvait dans l'un et l'autre ballon.

Le dosage de l'acide carbonique était fait par le procédé que l'on doit à M. Gréhant (1) et qui a été appliqué par MM. Gréhant et Quinquaud dans des recherches nombreuses sur la respiration (2). Il consiste à faire passer lentement l'air qui a été recueilli, dans une série de flacons renfermant les uns de l'acide sulfurique, les autres une dissolution de potasse. L'augmentation de poids des flacons à potasse donne l'acide carbonique. Le barbotage est actionné par une trompe à eau; nous l'avons réglé en général de façon à faire passer 25 litres en 12 heures.

Dans une de nos expériences nous avons trouvé pour 25 litres d'air expiré normalement 1^{er},194 d'acide carbonique. Après intoxication du même chien 25 litres d'air nous

(1) Gréhant, *Recherches comparatives sur l'exhalaison de l'acide carbonique par les poumons et sur les variations de cette fonction* (Journal de l'anatomie et de la physiologie pathologiques de MM. Robin et Pouchet, 1880).

(2) Gréhant et Quinquaud, *Recherches de physiologie pathologique sur la respiration* (Comptes rend. de l'Acad. des sciences, mai 1882).

ont fourni 1^{er},225, quantité à très peu de chose près égale à la précédente. Ces résultats et d'autres que nous passons sous silence nous portent à admettre que la formation d'acide carbonique reste normale chez un animal intoxiqué.

L'hydrogène sulfuré ne paraît pas agir sur le fonctionnement du cœur. Pour nous en assurer nous avons réalisé l'expérience suivante :

Nous avons mis la carotide d'un chien en communication avec un manomètre inscripteur; puis nous avons fait respirer à l'animal un mélange toxique à 1/600. Après deux minutes de respiration dans ce milieu, le rythme des mouvements respiratoires s'est profondément modifié, tandis que les mouvements du cœur produisent une courbe très régulière. Après trois quarts d'heure de ce traitement, l'animal résiste toujours, mais avec une respiration des plus irrégulières; quant aux battements cardiaques, ils sont toujours très réguliers. Nous substituons alors au premier mélange un second à 1/200. Trois minutes après, l'animal ne respire plus; le cœur continue toujours à battre encore pendant six minutes, mais en affaiblissant ses battements d'une façon graduelle. Nous ne pouvons donc attribuer le mécanisme de l'empoisonnement à une action de ce corps sur les fonctions cardiaques. Du reste, nous avons toujours constaté dans tous les phénomènes d'intoxication de ce genre que le cœur s'est arrêté après les mouvements respiratoires.

Passons maintenant en revue tout ce qui a été dit dans ce chapitre: Nous voyons que le mécanisme de l'action physiologique et toxique de ce poison ne peut être attribué uniquement, ni à l'action qu'il exerce sur les centres respiratoires ni à son influence sur le cœur, qui doit être très faible ou presque nulle. Nous ne pouvons non plus le considérer comme un poison spécial du sang à la façon de l'oxyde de carbone, puisque ce liquide conserve toujours sa capacité respiratoire. Nous avons vu aussi qu'il ne modifie en rien la production de l'acide carbonique. Quelle est donc cette action mystérieuse qu'il exerce d'une façon si terrible et si

prompte sur l'organisme ? L'expérience que nous avons faite sur les graines nous porte à admettre que la mort est la conséquence des actions toxiques que ce gaz exerce sur les éléments mêmes du protoplasma ; ce poison agirait sur ces éléments par une action chimique tout à fait intime donnant naissance à des produits incompatibles avec la vie : c'est un poison général. Nous avons vu, en effet, que la plus grande partie de l'hydrogène sulfuré introduit dans l'organisme d'un animal est à l'état de combinaison, nous n'en avons trouvé que de très faibles quantités à l'état libre.

Pourtant il semble résulter des phénomènes qui se produisent toujours pendant l'empoisonnement, que ce sont surtout les éléments nerveux qui sont le siège électif de ce poison. Les ecchymoses et l'état congestif des noyaux d'origine des nerfs vagues constatés par M. Laborde, ainsi que nos propres observations, nous portent à croire que c'est un centre d'élection de ce gaz toxique ainsi que le prouveraient aussi les désordres respiratoires qui se produisent toujours pendant l'empoisonnement. La quantité relativement considérable d'hydrogène sulfuré qu'on trouve dans le cerveau serait un argument de plus en faveur de la probabilité de cette atteinte directe des centres nerveux. Là encore, nous n'avons trouvé le gaz sulfhydrique qu'à l'état de combinaison.

Sur des grenouilles qui avaient subi un commencement d'empoisonnement par l'hydrogène sulfuré, nous avons répété les expériences classiques des phénomènes réflexes de la moelle épinière, et nous avons vu que ces actes réflexes s'éteignent rapidement ; ils n'ont pu être provoqués que pendant quinze minutes alors que, chez ces mêmes animaux décapités mais non intoxiqués, nous les avons observés pendant deux heures et demie. Il est à remarquer que quoique ces mouvements réflexes soient abolis, les nerfs sont encore longtemps excitables par les courants d'induction. Ceci est une preuve bien évidente que l'hydrogène sulfuré agit sur les cellules nerveuses de la moelle épinière comme sur

celles de la moelle allongée et des autres centres nerveux.

Enfin nous allons terminer ce chapitre par quelques observations qui peuvent avoir leur importance :

Nous avons examiné au microscope, trois quarts d'heure après l'intoxication d'un chien, les cellules à cils vibratiles des bronches ; elles étaient encore animées de mouvements vibratiles très énergiques. Dans une autre expérience, nous avons examiné ces mêmes cellules une heure après la mort par intoxication ; ces mouvements existaient encore.

Il est une propriété de l'hydrogène sulfuré découverte par Dutrochet (1), et que nous n'avons vue signalée par aucun physiologiste, et qui pourtant pourrait bien exercer dans l'organisme une certaine influence au point de vue des effets toxiques de ce corps. Nous voulons parler de la propriété que possède ce gaz de détruire les phénomènes endosmotiques des milieux où il se trouve, même à une faible dose.

Nous avons répété les expériences de Dutrochet, nous en avons même ajouté quelques-unes ; tout s'est passé comme ce savant l'indique : même avec les liquides les plus actifs ce gaz arrête de suite l'endosmose. Ainsi nous avons placé une dissolution d'hémoglobine dans un endosmomètre, il s'est produit immédiatement une ascension dans le tube de l'appareil. Au bout d'une heure d'une marche régulière de l'expérience, nous avons introduit 9 centimètres cubes de gaz sulfhydrique dans la dissolution de l'hémoglobine, et nous avons remis l'appareil en marche. Presque aussitôt il s'est produit une dépression dans le tube de l'endosmomètre, qui s'est accentuée de plus en plus.

Dans une autre dissolution d'hémoglobine placée dans les mêmes conditions, les phénomènes endosmotiques, qui se produisaient activement et d'une façon régulière, ont été arrêtés presque aussitôt par l'introduction dans l'endosmomètre d'une seule bulle d'hydrogène sulfuré.

Nous passons sous silence beaucoup d'autres expériences

(1) *Mémoire sur l'endosmose et l'exosmose.*

que nous avons faites et qui ne font que confirmer les lois posées par Dutrochet. Pourtant, il est bon d'ajouter, ainsi que nous l'avons vérifié, qu'une membrane qui a subi l'influence de l'hydrogène sulfuré reprend toutes ses propriétés endosmotiques dès qu'elle est par des lavages complètement débarrassée de la présence de ce corps.

Nous ne voulons certes pas exagérer l'importance de cette propriété au point de vue toxico-physiologique, mais il pourrait se faire qu'elle exerçât dans l'organisme une certaine influence, en provoquant une exsudation anormale des liquides cellulaires et détruisît ainsi l'équilibre indispensable au maintien de la vie. Malheureusement nous ne pouvons appuyer ici nos idées par l'expérimentation, et pour le moment nous devons nous en tenir à l'hypothèse.

CHAPITRE VI

CARACTÈRES DE L'EMPOISONNEMENT PAR L'HYDROGÈNE SULFURÉ

L'empoisonnement par ce corps se traduit toujours chez les mammifères, après un temps plus ou moins long, qui dépend surtout de la concentration du mélange toxique appliqué, par des troubles respiratoires dyspnéiques : l'animal respire plus profondément et plus abondamment, puis se produit un affaiblissement graduel de la respiration, et enfin arrêt complet. Cet arrêt peut être définitif ou passager. Dans ce dernier cas, après une pause qui peut durer depuis huit ou dix secondes jusqu'à deux minutes, on voit les mouvements respiratoires se rétablir lentement et graduellement, puis reviennent les profondes inspirations que nous avons constatées avant la syncope. Si à ce moment l'animal respire dans l'air, la respiration devient rapidement normale ; si au contraire il continue à respirer le mélange toxique, les mêmes phénomènes de dyspnée et d'arrêt se reproduisent avec les caractères que nous avons décrits, et cela jusqu'à la mort de l'animal. Il se produit aussi généralement une dilatation exagérée de la pupille, des mouvements convulsifs des membres suivis de raideur tétanique. Tous ces phénomènes ont déjà été décrits avec grand soin par d'autres observateurs, notamment par M. Laborde. Pour nous, nous avons surtout cherché à déterminer les caractères de l'empoisonnement (*post mortem*). Avant tout, nous nous sommes attaché à contrôler un certain nombre de caractères publiés par certains auteurs, probablement sans vérification. Ainsi, par exemple,

nous lisons dans le traité de thérapeutique de Rabuteau, que chez un animal intoxiqué par l'hydrogène sulfuré, « le cœur contient un sang noir ainsi que les organes parenchymateux. Les muscles sont noirs également, ils ne se contractent plus immédiatement après la mort et faiblement par l'électricité. » Tout ceci nous a été démontré comme absolument faux par toutes nos expériences; nous avons tout vérifié point par point, et, comme nous l'avons déjà dit, nous avons toujours trouvé dans le cœur un sang de couleur normale; il en est de même pour celui qui se trouvait dans les vaisseaux. Quant aux muscles, nous les avons toujours vus d'un beau rouge couleur de viande saine, et encore très excitables soit sous l'influence des actions mécaniques, soit par l'électricité. C'est surtout par cet agent que l'excitabilité est considérable. A propos de l'excitabilité, que nous avons souvent vérifiée chez le chien, et qui n'a rien présenté de particulier, nous allons décrire en détail une expérience que nous avons faite chez la grenouille.

Deux grenouilles sont placées dans un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré à volumes égaux : elles s'agitent d'abord très énergiquement, puis vient le repos et avec le repos le ralentissement des mouvements de déglutition (respiratoires); elles meurent après trois minutes. Nous avons mis de suite le cœur à nu, et nous avons constaté qu'il battait encore; les mouvements de cet organe se sont ralentis peu à peu, il y a eu arrêt complet après trois quarts d'heure. Contrairement à ce que nous avons vu chez le chien et le lapin, ici, le sang était complètement noir, profondément altéré. Cela ne doit pas nous étonner, car ce mélange renfermait 250 fois plus d'hydrogène sulfuré que ceux que nous avons généralement employés pour le chien. En outre la respiration cutanée jouant un grand rôle chez la grenouille, une grande quantité de gaz sulfuré peut pénétrer dans le sang par cette voie et en altérer rapidement les propriétés. Chez un mammifère, au contraire, un mélange aussi concentré foudroie l'animal après une ou deux inspirations,

et en somme la quantité de poison introduite dans le sang est relativement faible.

Nous avons ensuite excité les muscles et les nerfs par l'électricité, et nous avons constaté que ces deux sortes d'éléments étaient très excitables. Nous avons même lié une des pattes postérieures à une des grenouilles pour empêcher la circulation dans ce membre et voir s'il présenterait une différence d'excitabilité : nous n'en avons constaté aucune ; de part et d'autre l'excitabilité était très grande, tout aussi forte que sur des animaux de cette espèce non intoxiqués. Pourtant nous avons remarqué que les nerfs étaient relativement plus excitables que les muscles.

Au point de vue de la médecine légale, où nous nous sommes surtout placé, nous n'avons trouvé chez l'animal mort par intoxication aucun caractère distinctif absolument certain et irréfutable. Nous avons bien trouvé dans le cerveau intoxiqué de l'hydrogène sulfuré à l'état de combinaison, mais nous avons vu aussi que dans le cerveau normal on peut en trouver, surtout si la mort n'est pas de date toute récente. Nous en dirons autant pour le sang ; en effet, en prenant le sang aussitôt que l'animal vient d'expirer et en s'entourant de précautions, que nous avons décrites, on ne trouvera pas ce gaz dans le sang normal ; tandis que nous l'avons toujours trouvé en faible quantité, il est vrai, chez l'animal intoxiqué. Ces caractères ont bien leur importance, mais nous n'osons affirmer qu'ils soient absolus, surtout lorsqu'il s'agit de la condamnation d'un innocent ou de l'acquiescement d'un coupable. Il est évident maintenant qu'au point de vue spectroscopique, on ne peut obtenir de meilleurs résultats, puisque nous avons vu que généralement lorsque l'animal est mort par intoxication d'un mélange à faible dose, l'hydrogène sulfuré n'a pas été trouvé dans le sang à l'état de liberté. En trouverait-on, que ce ne serait pas une preuve irrécusable, puisque le sang normal sous l'influence même d'une faible décomposition peut fournir une certaine quantité de ce gaz.

Nous croyons utile de rappeler ici que M. Smirnow n'a pu déceler avec le spectroscope la présence de l'acide sulfhydrique dans le sang d'un animal intoxiqué, lorsqu'il a eu soin d'opérer sans mettre ce sang en contact avec l'air. Ceci est tout à fait conforme à nos expériences et prouve une fois de plus que ce gaz n'est pas à l'état de liberté, car on sait bien que des traces peuvent être décelées par la méthode spectroscopique.

Nous terminerons ce chapitre en indiquant les moyens que nous croyons les plus propices pour combattre les effets de ce poison. Le moyen qui nous paraît d'une véritable efficacité, s'il est appliqué assez à temps, est la respiration artificielle, comme l'a conseillée M. Laborde, pratiquée énergiquement : tant que le cœur n'est pas arrêté, elle offre des chances de succès.

Nous avons fait revenir à la vie, par ce procédé, des animaux ne respirant pas depuis deux minutes, mais nous n'avons pu dépasser cette limite. Il va de soi que la première chose à faire est de soustraire le malade au milieu toxique ; si on ne peut l'enlever du milieu délétère, on doit détruire l'hydrogène sulfuré le plus rapidement possible par l'action du chlore ou d'autres réactifs. A propos du chlore, nous avons essayé cet agent comme contre-poison, ainsi que certains auteurs le recommandent (1), en le faisant respirer à l'animal qui se trouvait sous l'influence de l'intoxication, et pratiquant en même temps la respiration artificielle ; mais nous devons avouer que son efficacité nous paraît très douteuse. Du reste, cela se comprend, puisque nous savons maintenant que dans l'organisme d'un animal intoxiqué il n'y a généralement pas d'hydrogène sulfuré libre. L'application du chlore est bonne tout au plus à détruire le gaz sulfuré qui se trouverait encore mélangé à l'air contenu dans les poumons.

(1) Hünefeld, *Archiv für mediz. Erfahrung*, sept.-oct. 1829, p. 789.

CHAPITRE VII

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Chaussier, Nysten et d'autres physiologistes ont fait agir l'hydrogène sulfuré sur différentes surfaces chez le chien et le lapin, mais dans leurs expériences ils ont toujours employé le gaz pur à dose plus ou moins élevée. La détermination de la dose toxique sur ces différentes surfaces n'avait pas encore été faite. Il nous a paru utile, au point de vue de l'absorption en général, de déterminer cette dose afin d'avoir une idée assez exacte de la perméabilité de ces surfaces au point de vue du gaz. Cette méthode serait même assez exacte, si dans ces expériences comparatives on avait pu opérer sur des surfaces égales ou dans des rapports faciles à déterminer; malheureusement la chose n'est pas possible, surtout lorsqu'il s'agit de surfaces intérieures; malgré cela, les données fournies par nos expériences peuvent être d'une certaine importance à plusieurs points de vue :

Les doses toxiques sont chez le chien :

Dans les poumons.....	1/500			
Dans la cavité thoracique....	1/50	c'est-à-dire	10 fois plus forte.	
— " abdominale...	1/25	—	20	—
Par la peau.....	15 p. 100	—	75	—

Les parois de l'estomac absorbent-elles les gaz? Telle est la question que nous nous sommes posée et que nous n'avons pas encore résolue.

Chaussier a tué des lapins par l'introduction de 100 centimètres cubes d'hydrogène sulfuré dans cet organe; d'après

cela, il y aurait absorption. Pour nous, lorsque nous avons introduit dans l'estomac d'un chien des mélanges d'air et d'hydrogène sulfuré à 1/50 et à 1/25, nous n'avons constaté aucun caractère d'empoisonnement, ni la présence du gaz sulfhydrique dans les produits de l'exhalation pulmonaire ; d'après cela, l'absorption par les parois de l'estomac n'existerait pas, ou si elle existe, elle est très faible, et la petite quantité d'hydrogène sulfuré qui traverserait les parois stomacales serait complètement absorbée par les éléments sans produire de phénomènes d'intoxication. Il peut se faire que dans les mélanges que nous avons employés la tension de l'hydrogène sulfuré ait été trop faible. Nous l'avons vérifié depuis, car nous avons tué un chien en introduisant dans ce viscère du gaz sulfhydrique pur.

Nysten a dit que l'hydrogène sulfuré est d'autant plus toxique que les animaux sont plus petits. Nous ne pouvons partager complètement cette opinion, car souvent nous avons vu des chiens de forte taille résister moins longtemps à l'action d'un mélange donné que d'autres beaucoup plus petits. Il y a une résistance individuelle qui doit être indépendante, jusqu'à un certain point, de la masse de l'animal.

Nous ne partageons pas non plus l'opinion de M. Smirnow, lorsqu'il dit que « l'introduction de l'hydrogène sulfuré dans le sang d'un animal n'a pour résultat qu'un arrêt plus ou moins continu de la respiration. » Il semblerait, d'après cela, que ce gaz introduit dans l'organisme par cette voie n'est pas mortel. Nous avons vu le contraire dans nos expériences.

Si l'action toxique de l'hydrogène sulfuré chez les mammifères a donné lieu à de nombreux travaux, il n'en est pas de même pour les animaux des autres classes. Nous sommes heureux d'avoir comblé cette lacune. Cette étude nous a vivement intéressé et nous a appris des choses qui, au point de vue général, offrent une grande importance : ainsi, c'est par ces observations que nous avons été amené à conclure *que l'hydrogène sulfuré agit sur les animaux avec d'au-*

tant plus d'énergie que la respiration est plus active; en d'autres termes, ce toxique agit d'autant plus vivement que son transport dans les profondeurs de l'organisme est plus rapide; c'est pour cela que les insectes aériens et les oiseaux sont si sensibles à l'action de ce poison; tandis que les poissons, les batraciens et les mollusques résistent si longtemps à de fortes doses.

Tableau des doses toxiques de HS sur différents animaux.

Oiseaux, Moineaux, Pinsons.....	1/2000
Grenouilles,	5 p. 100
Poissons.....	5 p. 100
Mollusques : Escargots, Limaces	10 p. 100
Crustacés. { Écrevisses	50 p. 100
{ Cloportes.....	1/1000
Araignées.....	1/1000
Mouches.....	1/2000
Sauterelles...	1/2000
Staphylins	1/1000
Dytiques.....	20 p. 100
Vers (Lombric)....	10 p. 100

L'élimination de l'hydrogène sulfuré par les voies respiratoires est, sur l'autorité de Claude Bernard, admise par tous les physiologistes. Pour nous, cette élimination par les voies trachéennes n'existe pas; mais il s'agit ici de bien expliquer sa pensée pour ne pas donner lieu à des malentendus regrettables.

D'après Cl. Bernard, l'organisme se débarrasserait par les voies respiratoires de l'hydrogène sulfuré qu'il aurait absorbé et se soustrairait ainsi assez rapidement à sa funeste influence. Ce savant donne comme preuve à l'appui que, lorsqu'on injecte dans le sang une certaine quantité de gaz sulfhydrique, celui-ci se manifeste rapidement dans l'air expiré et qu'il n'y paraît que pendant un temps très court; donc, dit-il, l'élimination est rapidement complète, puisqu'on ne trouve plus trace de ce gaz dans les produits de l'exhalation après quelques secondes. Pourtant, comme nous l'avons

vu, Cl. Bernard revient plus loin sur ses affirmations trop catégoriques.

Si, comme nous l'avons fait, on mesure d'une part la quantité du gaz toxique que nous introduisons dans le sang, et, d'autre part, si on se rend compte de celle qui s'élimine par les voies respiratoires, nous verrons que cette dernière quantité est bien faible par rapport à la première, ou du moins lui est très inférieure; nous avons même vu que nous avons pu introduire jusqu'ici 15 centimètres cubes de gaz sulfuré dans le sang et 100 centimètres cubes dans le rectum en dissolution étendue sans qu'il en apparaisse dans les produits exhalés, et ce gaz une fois fixé sur les éléments ne s'élimine plus par les voies pulmonaires; pourtant, il est probable que l'organisme s'en débarrasse généralement lorsque la dose n'est pas trop forte, puisqu'on voit les animaux atteints revenir à la santé; mais cette élimination doit se produire par une autre voie. Il est curieux de voir que lorsque la dose absorbée est un peu forte, l'animal succombe quelquefois plusieurs heures après l'absorption du poison; il est probable qu'il n'en serait pas ainsi si cette élimination pulmonaire était aussi rapide et aussi complète qu'on le pense. Ce que nous avons vu chez les poissons, les écrevisses et autres animaux, est encore plus frappant; ces animaux, en effet, résistent longtemps à l'influence de fortes doses du toxique, mais une fois gravement atteints, ils n'échapperont plus à l'effet du terrible poison.

Lorsqu'on fait respirer à un chien, par exemple un mélange d'air et d'hydrogène sulfuré, une partie du gaz toxique s'échappe de suite avec les produits exhalés, mais une autre partie se fixe sur les éléments, puisqu'il y a des signes manifestes d'empoisonnement, et c'est cette partie fixée qui ne s'échappera plus, en nature du moins, par les voies respiratoires, ainsi que nous l'ont montré nos expériences.

Nous avons remarqué constamment qu'en introduisant dans l'organisme le gaz sulfhydrique d'une façon quelconque, soit par des injections sous-cutanées, soit qu'on l'intrô-

duise directement dans le sang, soit dans la cavité abdominale, etc., les symptômes de l'empoisonnement ne se manifestent qu'après l'apparition du gaz sulfuré dans les produits de l'exhalation, il est probable que cet empoisonnement n'a lieu qu'après absorption par les éléments d'une certaine quantité de gaz toxique. Il peut se faire que l'élimination par les voies respiratoires ne se produise que lorsque les éléments en contact direct avec l'hydrogène sulfuré commencent à en être saturés. C'est ce qui arrive vite lorsque l'injection est faite brusquement et dans d'assez fortes proportions. Lorsque, au contraire, cette injection est faite lentement, la quantité qui est absorbée avant l'élimination pulmonaire est plus considérable.

Chaussier, Nysten, Broughton et d'autres physiologistes, disent que le sang d'un animal mort par l'intoxication de l'hydrogène sulfuré est noir et visqueux. Nous, nous lui avons toujours trouvé un aspect normal, soit comme coloration, soit comme consistance. Cette divergence d'opinion doit provenir de ce que nous avons toujours employé des doses relativement faibles, jamais le gaz pur, comme l'ont fait les observateurs que nous venons de citer. Du reste, Chaussier, comme nous l'avons déjà fait remarquer, est dans ses conclusions générales en désaccord avec ce qu'il a observé dans ses expériences. Car, en somme, il ne trouve de sang noir chez les animaux intoxiqués que celui qui a été en contact direct avec l'hydrogène sulfuré : lorsqu'il injecte le gaz sulfhydrique sous la peau, c'est dans les vaisseaux sous-cutanés seulement que le sang était noir et visqueux, les viscères présentaient, ainsi qu'il le dit lui-même, un aspect tout à fait normal.

Nous sommes loin d'admettre aussi l'opinion de Broughton, qui dit que les muscles et tous les viscères chez un animal intoxiqué sont noirs; le cerveau, en particulier, dit-il, offre une teinte brune foncée caractéristique. Pour nous, nous l'avons toujours vu avec sa coloration normale. Demarquay a constaté, ainsi que nous l'avons fait nous-même, qu'en pro-

menant sur le cerveau un papier à acétate de plomb, il restait complètement blanc.

Nous concluons que l'hydrogène sulfuré ne donne aux viscères une teinte noirâtre que lorsqu'il est employé à très fortes doses et que son action est longtemps prolongée. Mais chez les mammifères la mort arrive toujours avant cette coloration.

Quant à la putréfaction rapide signalée par certains auteurs, nous l'avons constatée aussi.

Pour le mécanisme de l'empoisonnement, nous admettons, comme MM. Brouardel et Loye, qu'il y a deux causes dans l'empoisonnement par l'hydrogène sulfuré ; dans la première, la mort est foudroyante et semble très nettement due à une action sur les centres nerveux ; dans la deuxième, la mort est lente, et nous l'attribuerons non seulement, comme ces deux observateurs l'admettent, à des phénomènes d'asphyxie, mais plutôt à une action s'exerçant sur les éléments histologiques eux-mêmes et particulièrement les cellules des centres nerveux.

Pour ce travail, nous avons eu souvent recours aux lumières de notre cher maître M. Gréhan ; les conseils qu'il nous a toujours donnés avec bienveillance nous ont été d'une grande utilité, surtout au point de vue des méthodes expérimentales : qu'il veuille bien accepter ici l'expression de toute notre reconnaissance.

Nous adressons aussi à M. Rouget, directeur du Laboratoire de physiologie générale au Muséum d'histoire naturelle, tous nos remerciements pour avoir mis généreusement à notre disposition et son laboratoire et tout ce qui nous a été nécessaire pour le succès de nos recherches.

Vu et permis d'imprimer.

Vu et approuvé.

Paris, le 23 décembre 1887.

Paris, le 21 décembre 1887.

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

Le Doyen,

GRÉARD.

E. HÉBERT.

